

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR**

**FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES**

**ESCUELA DE CIENCIAS BIOLÓGICAS**

**Calidad del agua para los ríos alto andinos, mediante indicadores  
biológicos**

**Disertación previa a la obtención del título de Licenciado en  
Ciencias Biológicas**

**PABLO ALBERTO CORDERO LEDERGERBER**

**Quito, 2015**

## CERTIFICACIÓN

Certifico que la Disertación de la Licenciatura en Ciencias Biológicas, del señor Pablo Alberto Cordero Ledergerber, ha sido concluida de conformidad con las normas establecidas; por lo tanto, puede ser presentada para la calificación correspondiente.



Dra. Verónica Crespo

Directora de la Disertación

Quito, 30 de marzo de 2015

## TABLA DE CONTENIDOS

1	RESUMEN.....	1
2	ABSTRACT.....	3
3	INTRODUCCIÓN.....	5
4	OBJETIVOS.....	9
4.1	Objetivo general:.....	9
4.2	Objetivo específico: .....	9
5	ALCANCE .....	9
6	DESARROLLO TEORICO .....	9
6.1	Sistema Embalse La Mica .....	9
6.2	Macrobentos en los tributarios del embalse La Mica.....	12
6.3	Índices de Calidad. ....	20
6.3.1	Índice Biótico EPT (Ephemeroptera, Plecoptera, Trichoptera).....	21
6.3.2	Índice IBF (Índice Biótico Familia).....	22
6.3.3	Índice BMWP.....	23
6.3.4	Índice ABI .....	24
7	MÉTODOS .....	26
7.1	Materiales y Método .....	26
7.1.1	Monitoreo Macrobentos.....	26
7.1.2	Identificación de macroinvertebrados.....	27
8	RESULTADOS.....	28
8.1.1	Muestreo Río Sarpache.....	28
8.1.1.1	Características de las estaciones de muestreo .....	28
8.1.1.2	Factores físico-químicos .....	30
8.1.1.3	Composición Taxonómica y análisis numérico .....	31
8.1.2	Muestreo Río Moyas .....	33
8.1.2.1	Características de las estaciones de muestreo. ....	33
8.1.2.2	Factores Físico-químicos .....	34
8.1.2.3	Composición Taxonómica y análisis numérico .....	35
8.1.3	Muestreo río Alambrado .....	38

8.1.3.1	Características de las estaciones de muestreo. ....	38
8.1.3.2	Factores Físicos-químicos .....	39
8.1.3.3	Composición Taxonómica y Análisis Numérico .....	40
8.2	Lista de Macrobentos encontrados en los Ríos Tributarios del embalse La Mica.....	42
9	DISCUSIÓN .....	43
9.1	Análisis de las características ambientales de los ríos Sarpache, Moyas y Alambrado. Relación entre abundancia y diversidad de los organismos identificados. ....	43
9.2	Interpretación de los Índices Bióticos. ....	49
9.2.1	Interpretación de los Índices Bióticos en relación con el análisis taxonómico.....	50
9.2.1.1	Río Sarpache .....	50
9.2.1.2	Río Moyas .....	51
9.2.1.3	Río Alambrado .....	52
10	CONCLUSIONES .....	54
11	RECOMENDACIONES .....	56
12	REFERENCIAS BIBLIOGRAFÍAS .....	57
13	FIGURAS .....	62
14	TABLAS .....	78
15	ANEXOS .....	97

## 1 RESUMEN.

El embalse La Mica entró en operación en el año 2002, a partir de ese año se han venido realizando monitoreos de la calidad del agua, tanto en el centro del embalse como en sus captaciones y ríos tributarios, para determinar la calidad del agua, su estado trófico y el tipo de tratamiento que se debe realizar, para que el agua sea apto para el consumo humano

El monitoreo consiste en la toma de muestras de agua para el análisis físico-químico y bacteriológico, tanto In Situ como en el laboratorio de Control de Calidad del Agua de la empresa, ubicado en el Parque Metropolitano de Quito. Este monitoreo se lo ha venido realizando cada tres meses, sin tomar en cuenta otros tipos de indicadores para determinar la calidad del agua, como el uso de bioindicadores o indicadores biológicos. En éste caso se propuso utilizar como bioindicadores a los macro invertebrados, por ser fáciles de muestrear, tener ciclos biológicos cortos, fácil de identificar hasta nivel de familias y permiten observar de manera indirecta, el estado ambiental del agua lo cual permite predecir las condiciones el agua del embalse en un futuro.

El monitoreo se realizó en los tres ríos tributarios que abastecen de agua al embalse, río Sarpache, río Moyas y río Alambrado. Se realizaron tres muestreos, en doce estaciones del río Sarpache, nueve estaciones en el río Moyas y nueve estaciones en el río Alambrado.

Para determinar la calidad del agua de los ríos mediante la identificación de macrobentos, se emplearon tres tipos de índices bióticos, que han sido usados para determinar la calidad del agua en ríos de altura. Los índices utilizados fueron

IBF (Índice Biótico de Familias), EPT (Ephemeroptera, Plecoptera, Trichoptera) y el BMWP (Biological Monitoring Working Party), y el ABI (Andean Biotic Index).

Si bien no podemos concluir tácitamente sobre las condiciones del agua en los tributarios, debido a los pocos monitoreos, y sin tener datos anteriores para realizar comparaciones, se puede observar que la calidad del agua no es muy buena en los ríos Alambrado y Moyas, esto se puede deber a una contaminación de tipo orgánica, debido a la presencia de materia orgánica en los suelos de la cuenca de drenaje.

## 2 ABSTRACT.

The La Mica Reservoir began operations in 2002, and as of that year the water quality has been monitored, both at the reservoir center and at its collection points and river tributaries, to determine the water quality and the type of treatment that must be performed in order for the water to be apt for human consumption, as well as to determine the trophic state of the reservoir.

Monitoring consists of taking water samples for the physical-chemical and bacteriological analysis, both *in situ* and in the Water Quality Laboratory of the company, located at Parque Metropolitano (Metropolitan Park) in Quito. Said monitoring has been taking place for 3 months, without taking into account other types of indicators to determine water quality, such as the use of bio indicators or biological indicators. For this case, a proposal is set forth to use macro invertebrates as the bio indicators, as they are easy to sample, have short biological cycles, easily identifiable and allow for indirect observation of the environmental state of the water; as the presence of high levels of contaminants has an accumulative effect and allows for predicting the future water conditions of the reservoir.

Monitoring was performed on three river tributaries that supply the reservoir with water; the Sarpache River, the Moyas River and the Alambrado River, for which samples of macrobenthos were taken at stations distributed throughout the rivers. 3 samplings were taken at 12 stations along the Sarpache River, 9 stations of the Moyas River, and 9 stations on the Alambrado River.

Three types of biotic indexes were employed to determine the water quality of the rivers by identifying macrobenthos, which have been used to determine the water quality of the rivers at elevation. The indexes used were the FBI Index (Family Biotic Index), the EPT Index (Ephemeroptera, Plecoptera, and Trichoptera) and the BMWP Index (Biological Monitoring Working Party), and ABI (Andean Biotic Index).

Although we cannot make implicit conclusions regarding the water conditions in the tributaries, due to the limited amounts of monitoring and no previous data to use for comparison, it can be observed that the water quality is not very good in the Alambrado River and the Moyas River. This could be due to organic contamination, resulting from the presence of organic matter in the soils of the drainage basin.



### 3 INTRODUCCIÓN.

La República del Ecuador a pesar de su extensión es un país rico en recursos hídricos, con una esorrentía media total de 432 000 h/m<sup>3</sup> por año, lo que se traduce en una provisión de 43 500 m<sup>3</sup> por habitante por año (FONAG, 2008), siendo superior a la media mundial de 10 800 m<sup>3</sup> por habitante (FONAPA, 2008). Este volumen de agua corre a través de 79 cuencas hidrográficas y 137 sub cuencas. Estas cuencas, se encuentran distribuidas a lo largo de dos vertientes que nacen de la región Sierra (Figura 1) (MAE, 2002).

El agua está mal distribuida; hay regiones en el país donde el agua es más abundante, como en la región norte de Esmeraldas y la Amazonía con precipitaciones de 4.000 mm por año, y en otras, como en la Puntilla de Santa Elena, dónde la precipitación anual llega a 400 mm por año. (INHAMI, 2013)

Hace 50 años la ciudad de Quito se abastecía en su mayoría de las fuentes de agua provenientes del Volcán Pichincha. Con el crecimiento de la población, y con ello el incremento de la demanda de agua, es necesario garantizar el recurso disponible para la ciudad. En el año 2014 la demanda de agua fue de 639 000 m<sup>3</sup> por día, 233 000 000 de m<sup>3</sup> por año, y la cantidad de agua distribuida por la EPMAPS fue de 242 000 000 de m<sup>3</sup>, para todo el Distrito Metropolitano de Quito (EPMAPS, 2014).

Para proveer de agua a la ciudad y sus Parroquias Rurales se han construido cuatro embalses en los dos sistemas hidrográficos orientales:

Papallacta y La Mica, la primera pertenece a la reserva Cayambe-Coca (403 000 hectáreas), sistema Papallacta. La segunda es la Reserva Ecológica Antisana (12 000 hectáreas) sistema La Mica-Quito Sur, y una tercera Cuenca que se utiliza para alimentar de agua potable a Quito, proviene del Parque Nacional Cotopaxi (33 400 hectáreas), el sistema Pita, y también un pequeño porcentaje de los acuíferos de Quito (EPMAPS, 2014).

Desde estos sistemas se lleva el agua por tuberías hasta la planta de tratamiento de agua potable, el 88% del agua se transporta por gravedad y únicamente el 12% llega por bombeo (EPMAPS 2014)

La Empresa Pública Metropolitana de Agua Potable y Saneamiento (EPMAPS) a través del Departamento de Gestión del Agua, se encargan de la gestión de los recursos de agua potable mediante la realización de monitoreos en los diferentes embalses, de acuerdo a lo establecido en la Ley de Gestión Ambiental, en donde se establece que el Control Ambiental consiste en la vigilancia, inspección y aplicación de las medidas para mantener o recuperar características ambientales apropiadas para la conservación y mejoramiento de los recursos naturales y sociales (LEY DE GESTIÓN AMBIENTAL, 2014).

En efecto, el proceso de embalsamiento de las lagunas, además de los riesgos debidos a las actividades humanas, puede conducir a la aparición del fenómeno de eutrofización y a la degradación de la calidad del agua. La realización de los monitoreos a través de parámetros físico químicos y biológicos, permiten controlar el estado trófico del recurso y garantizar su utilización al fin de tratarle para el consumo humano.

El Sistema hidrográfico de la Mica está ubicado en la Provincia del Napo, dentro de la Reserva Ecológica Antisana (REA). En la Figura 2 se puede observar que el embalse de La Mica está dentro de los límites de la Parroquia Cotundo y la Reserva Ecológica Antisana (EPMAPS, 2014).

El embalse La Mica, abastece una gran cantidad de la demanda de agua potable para Quito. Entró en operaciones en el año 2002, luego que se embalsara el agua de la Laguna de la Mica, mediante la construcción de un dique. Desde aquel momento, la Empresa Pública Metropolitana de Agua Potable y Saneamiento (EPMAPS), a través del departamento de gestión del Agua y del Laboratorio de control de calidad, ha venido realizando el monitoreo limnológico de la calidad del agua, para determinar su estado trófico, mediante el análisis físico, químico y microbiológico de muestras de agua tomados a diferentes profundidades en el centro del embalse y en los tres ríos tributarios (Alambrado, Moyas y Sarpache). El monitoreo de estos parámetros únicamente refleja las condiciones de la calidad del agua en ese momento, como una fotografía, de la condición trófica del embalse (EPMAPS, 2014). Por tal motivo, es importante incluir como alternativa complementaria la determinación de la calidad del agua mediante el uso de indicadores biológicos o bioindicadores. Existen diferentes organismos que se utilizan como indicadores de la calidad del agua, entre ellos: Macro Invertebrados, Plantas, Bacterias y Virus (De la Lanza y González, 2000).

De estos grupos, los más utilizados como bioindicadores de la calidad ambiental y del agua son los macro invertebrados bentónicos, que proporcionan excelentes señales sobre la calidad ambiental del agua de los ríos, debido a que algunos requieren de muy buenas condiciones para vivir, mientras que otros organismos abundan en aguas contaminadas. Otro aspecto importante para

considerarlos excelentes indicadores es porque su ciclo biológico es suficientemente corto para demostrar cómo son afectados por la presencia de sustancias contaminantes, aún en bajas concentraciones por los efectos acumulativos de muchos de los agentes contaminantes. Otra ventaja es que son fáciles de colectar por ser relativamente inmóviles (IBF-SV, 2010).

Por todas estas ventajas el uso de los macrobentos o invertebrados bentónicos para medir la calidad del agua ha tomado gran importancia alrededor del mundo, y últimamente en los países latinoamericanos (Carrera y Fierro, 2001).

## **4 OBJETIVOS**

### **4.1 Objetivo general:**

Determinar la calidad del agua de los tributarios del embalse La Mica, utilizando bioindicadores y particularmente macrobentos.

### **4.2 Objetivo específico:**

Determinar cuál de los índices utilizados es el más conveniente realizar en futuros estudios en ríos alto andino.

## **5 ALCANCE**

Este estudio se concentrará en la revisión y análisis de la calidad del agua mediante el uso de macro invertebrados como indicadores de la calidad del agua de los ríos tributarios Sarpache, Moyas y Alambrado.

## **6 DESARROLLO TEORICO**

### **6.1 Sistema Embalse La Mica**

El sistema hidrográfico de La Mica está ubicado en el flanco occidental de la Cordillera Oriental de los Andes, al oeste del volcán Antisana, a 50 km al sur este de Quito, en la provincia del Napo, cantón Archidona (Figura 2), (EMAAP, 2005).

Los componentes principales del sistema son la presa La Mica y las captaciones sobre los ríos Antisana (capacidad máxima de 1 500 l/s), Jatunhuaycu (cap. máx. 400 l/s) y Diguchi (cap. máx. 150 l/s). La presa regula el escurrimiento de las quebradas Alambrado, Sarpache y Moyas, sus afluentes

principales. Las coordenadas GPS de los puntos de monitoreo del embalse y de sus tributarios son indicados en la Tabla 1.

El sistema hidrográfico de La Mica tiene un área de 138,4 km<sup>2</sup>, de los cuales 47,3 km<sup>2</sup> están dentro de la REA (1 200 km<sup>2</sup>) que forma parte del Sistema Nacional de Áreas Protegidas del Estado Ecuatoriano (SNAP). Los principales usos de la cuenca son de naturaleza agrícola y ganadera (ganado bovino y ovino que representan una carga de 0,5 UBA/ha o Unidades Bovinas por Hectárea) junto con actividades de turismo como la pesca deportiva de trucha (EMAAP, 2005).

La cuenca de aportación del embalse La Mica involucra un área de 26,8 km<sup>2</sup> y recorre desde su divisoria noroeste hasta su divisoria sureste, una distancia de 10,45 km. Sus cotas altitudinales están comprendido entre 3 900 msnm y los 4 900 m.s.n.m. Debido a la altura, la presión atmosférica es menor a 500 Mb (EMAAP, 2005).

El volcán Antisana constituye una gran barrera que influye sobre la incidencia de vientos orientales de modo que su costado oriental tiene precipitaciones medias anuales de 3 200 mm, mientras que el flanco hacia el embalse las precipitaciones se reducen a 880 mm por año. La temperatura es fuertemente modificada por la altitud con un promedio anual de 5°C y fuertes fluctuaciones diarias y horarias. Casi todas las noches del año la temperatura es bajo cero. Los meses de verano o de mayor incidencia solar son noviembre, diciembre y enero, mientras que los meses de más frío son julio, agosto y septiembre, caracterizado por fuertes vientos que varían de NO a SE, durante el día, y de SE a NO durante la tarde (EMMAP, 2004).

El embalse se encuentra en un lago localizado en una depresión topográfica y fue creado por la Empresa Metropolitana de Agua Potable y Alcantarillado (EMAAP-Q) ahora llamada EPMAPS, en el año 1999. La cubeta del lago está utilizada ahora como volumen útil para el regulando de los caudales. En la Tabla 2 se pueden observar las características del embalse (EPMAPS, 2005).

El embalse tiene tres afluentes que son: río Alambrado, el río Moyas y el río Sarpache. Estos tributarios no reciben aportaciones directas de los glaciares del Antisana los cuales se originan en pantanos o afloramientos de aguas subterráneas. Se caracterizan por la alta concentración de sedimentos, debido a que son ríos de montaña (pendiente media de 5% en la zona de ingreso al embalse). En conjunto, aportan un caudal de 441 l/s. En la Tabla 3 se presentan las características de los tributarios (EPMAPS, 2005).

## **6.2 Macrofitos en los tributarios del embalse La Mica**

Para completar los conocimientos sobre los embalses es necesario conocer los aportes de los tributarios. En efecto, el estado de los embalses es un reflejo de la calidad del agua que aportan sus afluentes, y en especial de la carga de materia orgánica y de nutrientes.

La calidad del agua se ha medido tradicionalmente a través de parámetros físico-químicos que indican la calidad del agua en ése momento y no una visión de las variaciones en el tiempo. Otra alternativa son los indicadores biológicos conocidos como bioindicadores, los cuales presentan ventajas más amplias y estables a través del tiempo. Nos permite estudiar cambios temporales causados por las perturbaciones en el medio, los cuales se manifiestan en cambios en la estructura de las comunidades así como ausencia de especies indicadoras (Roldan, 1999).

Los bioindicadores no sustituyen al análisis físico-químico, al contrario, permiten poner en evidencia perturbaciones que inducen a modificaciones de la naturaleza del sustrato y de la calidad orgánica del agua. En efecto, según la definición un bioindicador es una especie (o grupo de especies) que poseen requerimientos particulares con relación a uno o a un conjunto de variables físicas o químicas, tal que los cambios de presencia/ausencia, número, morfología o de conducta de esa especie en particular, indiquen que las variables físicas o químicas consideradas, se encuentran cerca de sus límites de tolerancia (Rosemberg y Resh, 1993).

La utilización de los indicadores biológicos se basa en el conocimiento de cómo responden las comunidades a las distintas perturbaciones. Existe un estado



de referencia al estado del medio antes de la perturbación y un estado actual que corresponde al medio encontrado después de la perturbación. En este caso, la perturbación corresponde al embalsamiento de la laguna La Mica al principio del año 1990. Ningún estudio se realizó antes, de tal manera que nuestro estudio permite poner en evidencia una degradación ulterior del medio respecto al estado que vamos a determinar para el año 2014. Para caracterizar el estado actual de los tributarios, se utilizaron índices taxonómicos que estudian la composición taxonómica de las comunidades.

El principal inconveniente ligado al cálculo de los índices biológicos, se encuentra en la correcta identificación taxonómica de los organismos. Pero, los macro invertebrados constituyen un grupo suficientemente representativos para poder llevar a una evaluación adecuada. La mayor parte de investigadores les consideran como los mejores indicadores de calidad del agua y con la clave de identificación vamos a disponer de una base sólida de conocimientos. (Lebrunet y Rosero, 2008)

Las mayores ventajas de usar macro invertebrados como indicadores de la calidad del agua son las siguientes: (Roldan, 1999).

- Un bioindicador es un parámetro directo de la calidad del agua que refleja las condiciones ecológicas de un sitio determinado. Es sensible al impacto de factores difusos, no puntuales, que no pueden ser detectados por otros métodos.
- El carácter sedentario de muchas especies que son específicas a un tipo de medio permite determinar los efectos en el tiempo de las perturbaciones.

- Los organismos acumulan en el tiempo los efectos causados por diferentes factores (efecto bioacumulativo).
- Las técnicas de recolección son fáciles y requieren pocos materiales.

Las desventajas que se pueden mencionar son:

- La taxonomía de algunos grupos no es bien conocida, sin embargo, la identificación de los organismos no siempre necesita precisión a nivel genérico o específico. La determinación taxonómica hasta familia es suficiente.
- La interpretación de los resultados y sus comparaciones en el tiempo puede verse afectada por las variaciones dinámicas de las poblaciones, es decir, que las diferencias observadas se deban a la ecología de las especies (período de reproducción, etc...).
- Los macro invertebrados no son sensibles a algunas perturbaciones como la presencia de patógenos de origen humano como coliformes o parásitos. Esta desventaja puede ser secundaria si es acoplada con el monitoreo físico-químico y bacteriológico, que permite esta detección (Giacometti y Barbosa, 2006).

Los macrobentos son organismos que habitan de manera fija o errante en la superficie o en el interior del fondo del lecho de un río o sustrato y que alcanzan un tamaño de entre 3 y 5 mm o más. La mayoría de los especies son los Phyla Arthropoda (clases de Malacostraca e Insecta), Mollusca (clases Gastropoda y Bivalvia), Annelida (clases de Hirudinea y Oligochaeta) y la clase Arácnida.

A continuación se detallan algunos Phylum y Órdenes de macrobentos que se utilizan como indicadores de calidad de agua, y son más abundantes.

### ***Phylum Artropoda***

La clase de los Insecta es la más abundante clase encontrado en las regiones tropicales (Jacobsen 2008). Se pueden ver variaciones dependiendo de la zona geografía, pero su proporción es la misma. Los cuatro órdenes que constituyen la mayor parte de macrobentos encontrados son Ephemeroptera, Díptera, Coleóptera y Trichoptera. En cuanto a las familias las más dominantes son:

Chironomidae (Díptera), Baetidae y Leptophlebiidae (Ephemeroptera), Hydropsychidae (Trichoptera) y Elmidae (coleóptera).

### ***Phylum Platyhelminthes***

Los platyhelminthes habitan en su gran mayoría debajo de piedras, troncos, ramas, hojas y sustratos similares, en aguas poco profundas. La mayoría viven en aguas bien oxigenadas, pero algunas especies pueden resistir cierto grado de contaminación. Son fuente de alimento para ninfas de Odonata y otros insectos acuáticos, nematodos, anélidos y algunos crustáceos. Son de régimen alimentario carnívoro y carroñero (Noreña, 1995).

### ***Phylum Annelida***

Los Oligochaetas viven en aguas eutrofizadas, sobre fondo fangoso y con abundante cantidad de detritus. Su alimento consiste en algas filamentosas, diatomeas y detritus de plantas y animales (Marchese y Paggi, 1993).

Los Hirudineas habitan en aguas quietas o de poco movimiento, donde se localizan frecuentemente bajo las piedras, sobre troncos, plantas y residuos vegetales. Toleran bajas concentraciones de oxígeno por lo que son comunes en

lugares donde hay abundante materia orgánica en descomposición. Son indicadores de aguas eutrofizadas, por efectos de contaminación orgánica. En su mayoría son carnívoras y se alimentan de caracoles, insectos, oligoquetos y otros pequeños invertebrados. Algunas especies son parásitos de peces, crustáceos o ranas (Marchese y Paggi, 1993).

### ***Phylum Mollusca***

Viven preferentemente en aguas claras y tranquilas. Tienen vida relativamente larga, hábitos sedentarios, alto potencial biótico y presentan diferentes grados de tolerancia a la contaminación. La alimentación es variada, son voraces y prefieren ciertos vegetales autóctonos; restos de animal fresco y hasta congéneres muertos (De la Lanza et Al, 2000).

### ***Phylum Crustacea***

La mayoría viven en el fondo o cerca de él, arrastrándose ahí o por la superficie de las plantas, otros son nadadores. Por lo general son filtradores; algunos son depredadores y otros recogen partículas de alimento del fondo fangoso. Han cobrado gran interés por su calidad intrínseca de plasticidad y flexibilidad de adaptación ecológica, ocupando con gran éxito una gran variedad de ambientes. Son fuente de alimento para ciertos peces de interés comercial en especial sus estadíos larvarios, y por ser indicadores de polución y depredadores activos de caracoles vectores de esquistosomiasis (Rinderhagen et Al, 2000)

### ***Phylum Arthropoda***

#### ***Clase de Insecta***

#### **Orden Plecoptera**

Conocidas como ninfas de moscas de piedra, son características de las aguas rápidas, turbulentas y frías, bien oxigenadas y no contaminadas porque son poco tolerantes a la contaminación orgánica, por lo que son excelentes indicadores biológicos de aguas muy limpias y oligotróficas. Son predadoras nocturnos, detritívoras o herbívoras y se refugian bajo piedras o palos. Son importantes en las cadenas tróficas de los ambientes donde habitan, por su alta biomasa y su longevidad (Forero et Al, 2013).

### **Orden Efemeróptera**

Conocidas como ninfas de moscas de mayo, este orden se encuentra en las aguas corrientes y en medios característicos. Muchas especies son altamente susceptibles a la contaminación del agua por lo que son muy utilizadas como bioindicadores de la calidad del agua donde habitan. Viven debajo de piedras, troncos, hojas y adheridos a la vegetación sumergida. Son exigentes en valores elevados de oxígeno disuelto y pH neutro hacia ligeramente alcalino. Se reconocen a causa de una espalda abombada y de sus tres cercos (Salinas y Ediva, 2008).

### **Orden Díptera**

Se encuentran en cada tipo de hábitat y, como grupo, los adultos son los más ampliamente adaptados a diferentes hábitats.

La familia de Ceratopogonidae, también conocidos como beatillas, se las encuentra en hábitats acuáticos y semiacuáticos en todo el mundo, su presencia en los hábitats acuáticos indican un estado oligomesotrófico. Sus individuos son importantes vectores de organismos patógenos (nematodos, protozoos y virus)

para el hombre y animales domésticos. La familia de Chironomidae es indicadora de aguas mesoeutróficas (Plaza y Valdez, 2000).

La familia Simuliidae se encuentra en aguas limpias y claras que reciben insolación directa con pH neutro y alto contenido de oxígeno disuelto. Necesitan un sustrato sólido como piedras, hojas, raíces. Se alimentan de materia orgánica (algas, bacterias y restos de otros organismos superiores). Cumplen un importante rol en la cadena trófica de los ambientes loticos porque son incluidos también en la dieta de los peces, aves y artrópodos. Pican al hombre para obtener sangre y son vectores de parásitos (Plaza y Valdez, 2000).

### **Orden Coleóptera**

Conocidos como escarabajos, estos organismos son capaces de reponerse rápidamente de una perturbación, es por esta razón que son indicadores de aguas contaminadas. Se caracterizan por tener gran descendencia, un pequeño tamaño y tienen una vida corta. Las larvas son depredadoras. Respiran con branquias pero son capaces de almacenar aire atmosférico, lo que explica porque pueden vivir en medios que presentan poco oxígeno (típico de una contaminación orgánica). Su característica más importante es que tienen un ojo negro que se localiza sobre una mancha blanca (Bilbao y Gonzáles, 2009).

La familia Elmidae se caracteriza porque los adultos viven en aguas corrientes con alto contenido de oxígeno y se alimentan de algas y detritos. Las larvas se alimentan de algas y suelen vivir en el mismo ambiente que los adultos (Bilbao y Gonzáles, 2009).

### **Orden Trichoptera**

Se encuentran en muy variados hábitats y algunos ríos con vegetación acuática. Muchas construyen vainas o casas, cuya forma es específico, y permite identificarles. Estas vainas permiten a las especies más frágiles fisiológicamente, es decir, tolerantes a muy intolerantes ante la presencia de materia orgánica, de vivir en los ríos. Las especies de Trichoptera son no tolerantes a los niveles bajos de pH y son las primeras en desaparecer en los sistemas que empiezan a acidificarse (Baguren y Orive, 1991).

Además, prefieran vivir en las aguas corrientes lo que significa que son exigentes a la concentración alta de oxígeno. Son indicadores de aguas oligotróficas. (Baguren y Orive, 1991)

La familia Hydrobiosidae es característica de las aguas oligotróficas.

### **Orden Odonatos**

Son las ninfas de libélulas y caballitos del diablo. Pueden habitar aguas quietas o corrientes; en algunos casos con abundante vegetación, sobre fondos de arena y grava o fangosos. Son indicadores de calidad de agua (Forero et Al, 2013).

### **6.3 Índices de Calidad.**

El análisis de los resultados es de tipo cualitativo y cuantitativo es decir, que se estudia el número de individuos, la presencia de algunos tipos de especies y la estructura de la comunidad. La abundancia estimada como el número de individuos por familia y los resultados son por eso expresados en términos de densidad (Ind/m<sup>2</sup>).

Los índices de diversidad y riqueza no son buenos para detectar cambios muy importantes en el ambiente. Estos índices miden la abundancia y biodiversidad de especies de un sitio otorgando mayor puntuación a sitios más con mayor diversidad de organismos. En una comunidad natural se caracteriza por tener una gran diversidad de especies pero bajo número de individuos por especie, en cambio una comunidad alterada presenta un bajo número de especies pero una gran cantidad de individuos por especie (Roldan, 1999). La desventaja es que con relación a los índices bióticos es que es necesario la identificación de los organismos hasta el nivel de especie, no se requiere información sobre la tolerancia a la contaminación, sirven para detectar episodios leves de contaminación. Los índices bióticos, en cambio, permiten la valoración del estado ecológico de un ecosistema afectado por un proceso de contaminación. Para lo cual a los grupos de macrobentos se les asigna un número en función de su tolerancia a cierto tipo de contaminante. Los más tolerantes a la contaminación reciben un valor numérico menor, y los más sensibles a la contaminación un valor numérico mayor, y la suma de todos los valores nos indica la calidad del agua (Roldan, 1999).



Pocos países tropicales tienen índices bióticos propios para sus ríos, pero es posible de obtener buenos resultados aplicando índices de los países temperados en los países tropicales, debido a que la mayor parte de las familias de macroinvertebrados están repartidas en todo el mundo (Roldan, 1999).

Para éste estudio se van a utilizar 4 índices bióticos, estos son:

- Índice EPT (Ephemeroptera, Plecoptera, Trichoptera)
- Índice IBF (Índice Biótico de Familias)
- Índice BMWP (Biological Monitoring Working Party)
- ABI (Andean Biotic Index)

Estos índices han sido utilizados en Ecuador y en otros países andinos y han demostrado ser apropiados (Jacobsen, 1998), así que serán utilizados sin modificación de los valores de tolerancia.

### **6.3.1 Índice Biótico EPT (Ephemeroptera, Plecoptera, Trichoptera)**

Este índice utiliza los tres grupos de macro invertebrados más sensibles a la contaminación orgánica, son los órdenes Ephemeroptera, Plecóptera, y Trichóptera.

El cálculo consiste en dividir el número de EPT presentes en la muestra para la cantidad total de organismos de la muestra:

$$I_{EPT} = (N_{EPT}/N) * 100$$

Donde:

$I_{EPT}$  = índice EPT

$N_{EPT}$  = Número total de individuos EPT en la muestra

$N$  = Número total de individuos en la muestra

Después se compara el valor obtenido con los valores detallados en la Tabla 4 (Carrera y Fierro, 2001)

### **6.3.2 Índice IBF (Índice Biótico Familia)**

Adaptado por Hilsenhoff (1987), para el análisis de sin la necesidad de identificación específica de los organismos. Este índice se utiliza para evaluar la calidad del agua de una cuenca hidrográfica determinada (Hilsenhoff, 1988).

El índice biótico de familia se calcula como promedio ponderado de la abundancia de diferentes especies de macro invertebrados bentónicos. El valor de ponderación es una medida de la tolerancia que presenta cada grupo a la contaminación orgánica (Hilsenhoff, 1988).

Por cada familia se multiplica el puntaje de tolerancia por el número de individuos y después se suman los resultados de todas las familias. La suma se divide para el número total de organismos encontrados en la muestra según la siguiente fórmula (Hilsenhoff, 1988).

$$IB = \sum n_i * a_i / N$$

Donde:

$n_i$  = es el número de individuos de cada especie

$a_i$  = es el valor indicador de la tolerancia asignado a cada especie

$N$  = es el número total de individuos en la muestra

Por cada familia se determina un valor de tolerancia que va desde 0, que representa el menos tolerante a la contaminación, a 10 que es el más tolerante a

la contaminación orgánica. Un valor de cero es asignado a especies que se encuentran únicamente en ríos de muy alta calidad, no alterado y un valor de diez a especies que se encuentran en ríos altamente contaminados, los valores intermedios son asignados a especies que se encuentran entre estas dos condiciones. Se pueden encontrar en la literatura tablas con estos valores. Es importante tener presente que el uso de índices de otras regiones debe ser de las mismas características locales, lo cual es poco factible (Hilsenhoff, 1988).

En el presente estudio se utilizará como referencia la tabla de Hauer y Lamberti (1996) (Tabla 5), que contiene los valores obtenidos por Hilsenhoff y empleadas en Chile. Los valores de índice se refieren a clases de calidad del agua de muy malo a excelente, los valores bajos corresponden a un mejor diagnóstico. Los valores de tolerancia de macroinvertebrados bentónicos utilizados en la determinación de IBF se lo puede observar en el Anexo 1 (Hilsenhoff, 1988).

### **6.3.3 Índice BMWP.**

El índice BMWP (Biological Monitoring Working Party), establecido en Inglaterra en 1970, es un método sencillo y rápido para evaluar la calidad del agua usando macroinvertebrados bentónicos como bioindicadores; sólo requiere llegar hasta el nivel de familia. Los datos son cualitativos (ausencia o presencia). Las puntuaciones son determinadas en función de la sensibilidad o la tolerancia de diferentes grupos o familias a la contaminación orgánica, en un rango de 1 a 10 (Naranjo et Al, 2013).

Las familias más sensibles como Perlidae (Plecoptera) y Oligoneuriidae (Ephemeroptera) presentan un puntaje de 10, en cambio las más tolerantes a la

contaminación por ejemplo Tubificidae (Oligochaeta), tienen una puntuación de uno (Naranjo et Al, 2013). En el Anexo 2 se puede observar los puntajes para las diferentes familias.

La suma de todos los puntajes de todas las familias proporciona el puntaje total BMWP (Naranjo et Al, 2013). En la Tabla 6 se puede observar las cinco clases de calidad de agua resultantes de la suma de las puntuaciones obtenidas por las familias encontradas en un ecosistema dado. El total de puntos se designan como valores de BMWP (Naranjo et Al, 2013)

#### **6.3.4 Índice ABI**

El ABI (Andean Biotic Index) es un índice basado en el índice BMWP, aplicado para las estribaciones de los Andes sobre los 2.000 msnm. En este índice están incluidas menos familias de macro invertebrados que en otras partes del mundo, donde se aplica el índice BMWP, debido a que la altura restringe la distribución de muchas familias (Ríos-Touma et Al, 2014).

En las zonas neotropicales generalmente las familias de macroinvertebrados reciben las mismas puntuaciones de resistencia a la contaminación que las familias de las zonas templadas (Jacobsen 1998). En las zonas de los Andes el gradiente de altura es muy importante y tiene gran influencia en la presencia y a la resistencia a ciertos contaminantes. Además varias consideraciones como el tipo de vegetación, el factor limitante como la altitud, no han sido tomadas en cuenta al momento de realizar adaptaciones del índice BMWP. En muchas regiones de Sud América se ha aplicado versiones del índice BMWP (Jacobsen, 1998). En Colombia y Argentina han hecho sus

adaptaciones preliminares, y en otras regiones con pocas modificaciones. (Ríos-Touma et Al, 2014).

El índice ABI se ha probado en dos cuencas de Ecuador y Perú, para comparar con otras adaptaciones de BMWP usadas anteriormente en el área. Se asignaron como en las otras adaptaciones, valores a cada familia y la suma total de esos valores da el índice ABI. Dividiendo este valor para el número total de taxon encontrados en el sitio de estudio se obtiene el Andean Average Score per Taxon (Ríos-Touma et Al, 2014).

En todas las versiones de BMWP adaptadas a diferentes estudios en América del Sur se han incluido a 111 taxon de macroinvertebrados incluidos algunos que no ocurren en la región neo tropical. En el estudio realizado aplicando el índice ABI se excluyeron 52% de familias del estudio original BMWP, 44% del índice adaptado por Península Iberia (IBMWP), 22% del índice adaptado por Colombia (BMWPA) y el 29% de las familias del índice adaptado para Chile (BMWPOCH) (Ríos-Touma et Al, 2014).

## **7 MÉTODOS**

### **7.1 Materiales y Método**

#### **7.1.1 Monitoreo Macrobentos**

Se tomaron en total 18 muestras de macrobentos de los tres tributarios, el 7 de enero, el 22 de enero y el 29 de enero del año 2015. En total se realizaron 30 muestreos, entre las 12:00 y las 15:35 de la tarde. En el río Sarpache se muestreó en 12 estaciones, en el río Moyas en 9 y en el río Alambrado en 9. El número de muestras se seleccionaron de acuerdo al número de hábitats diferentes encontrados a lo largo de los ríos. Las estaciones estaban ubicadas entre los 3 918 msnm y 3 934 msnm. Las coordenadas de los puntos de muestreo se pueden ver en la Tabla 7. En la figura 3 se puede observar el mapa con las estaciones de muestreo.

Al mismo tiempo se toman los datos de los parámetros físico-químicos con los equipos portátiles de campo, para la medición del Oxígeno disuelto se utilizó un equipo marca YSI modelo 51B con compensación automática de temperatura y altura, para medir el pH y la conductividad se utilizaron equipos WTW. Estas mediciones directas se deben realizar sin manipular el agua lo que puede modificar la solubilidad de los gases disueltos. Los electrodos una vez sumergidos, no deben entrar en contacto con macrófitas o algas, o quedar enterrados en el sedimento ya que esto puede desvirtuar la medida real

Para recolectar los macrobentos se utilizó una red Surber de malla 0.3 mm. Para la conservación de los organismos se utilizó Etanol al 70%, en frascos plásticos de 150 ml (Figura 4). También utilizamos un flexómetro para medir el área del tramo de estudio para la determinación de las densidades.

Para la identificación de los macrobentos en el laboratorio utilizamos un estereomicroscopio de DGA marca Cole Parmer, la clave de identificación de los macroinvertebrados (Lebrunet y Rosero, 2008), frascos de 50 ml con doble tapa para el almacenamiento de las muestras (Figura 5).

### **7.1.2 Identificación de macroinvertebrados**

Se identificaron las muestras mediante dos etiquetas, una que se ponía fuera y la otra dentro el frasco para garantizar una buena trazabilidad. Las muestras se conservaron en etanol al 70% lo que permite de estabilizar las proteínas de los tejidos y garantizar la conservación de las características de los cuerpos.

Posteriormente, en el laboratorio se limpiaron las muestras y se procedió a la identificación de los macroinvertebrados. El primer nivel de identificación correspondía al Orden y después se pudo precisar hasta el nivel de familia.

## 8 RESULTADOS

### 8.1.1 Muestreo Río Sarpache

#### 8.1.1.1 Características de las estaciones de muestreo

##### Primer Muestreo

El río **Sarpache** es un tributario estrecho abierto de poco de profundidad lo que explica las altas temperaturas (16 a 20°C) del agua muestreadas en el día del primer muestreo (7 Enero 2015) un día soleado y con pocas nubes (Figura 6).

El pH varió entre 7,4 a 8,1, (pH básicos) y la conductividad varió entre 48 y 196  $\mu\text{S/cm}$ . La última estación está constituida de macrófitas en abundancia donde se encontraron macrobentos. Las profundidades encontradas fueron de 11 a 25 cm y el ancho del río varió de 40 a 420 cm.

Este río presenta sedimentaciones muy importantes de hierro, como se puede observar en la Figura 7. Este tipo de medio es predominante y fue muestreado en las cuatro primeras estaciones con diferentes velocidades. La estación 5 fue la única a no presentar sedimentaciones de hierro, cerca de la desembocadura al embalse.

##### Segundo Muestreo

El segundo muestreo fue realizado el 22 de enero 2015, entre las 11:50 y las 15:00, en 4 estaciones del río Sarpache. Como consecuencia del período de lluvias, el río presentó un incremento de caudal con mayor corriente, el río Sarpache no presentó en estas estaciones el tipo de suelo pedregoso en el fondo



y con vegetación en su parte más alta, lo que obligó a realizar el monitoreo en estaciones con vegetación.

Las estaciones estaban ubicadas entre los 3 935 msnm y 3 939 msnm. Las temperaturas del ambiente y del agua eran más bajas. La temperatura del aire disminuyó 10°C mientras que la del agua se redujo a 5°C, en comparación con el primer muestreo.

En el río Sarpache, con el incremento del caudal, se fueron los sedimentos observados durante el primer monitoreo. El agua era transparente, lo que significa que la crecida del río les arrastró hasta el embalse quedando el río limpio. En la Figura 8 se puede observar una vista del río Sarpache el día del segundo monitoreo.

### **Tercer Muestreo**

Realizado el 29 de enero 2015, entre las 12:00 y las 13:53, se tomaron muestras en 3 estaciones del río Sarpache.

El cielo estaba nublado y se presentaron lluvias, por tal motivo la temperatura del aire fue constante con un valor igual a 6°C durante todo el tiempo del monitoreo, lo que corresponde a las temperaturas medidas durante los meses de enero.

Los valores de conductividad se incrementaron en el río Sarpache presentando, una vez más, el valor más alto (80µS/cm).

En el río Sarpache, las temperaturas de agua muestreadas en las 3 estaciones fueron más altas que las de los otros ríos (9 a 12°C) como en el momento de los otros monitoreos. Fueron observadas fuentes de agua caliente

alrededor del curso y depósitos de hierro. Estos dos fenómenos pueden ser observados en la Figura 9.

Las estaciones muestreadas tenían profundidades entre 10 y 20 cm y con una anchura entre 30 a 100 cm. Las tres presentaban velocidades de caudal muy diferentes, de mayor a menor, todas las estaciones presentaron vegetación en su fondo, como se pueden observar en la Figura 10.

#### **8.1.1.2 Factores físico-químicos**

Al fin de evaluar la validez de los datos físico-químicos, se compararon los valores obtenidos con datos de otros monitoreos realizados entre 2010 y 2014 por el departamento de Gestión Ambiental de la EPMAPS. Estos datos fueron obtenidos en el mismo periodo de tiempo, es decir entre el 7 de enero y el 11 de febrero. En la Tabla 8 se pueden comparar los datos de 7 enero 2015 con un promedio de los datos entre los años 2010 al 2014 del río Sarpache.

Si comparamos los datos podemos observar que la temperatura del agua en el primer muestreo se incrementó al doble con respecto al promedio entre 2010 y 2014, mientras que en el segundo muestreo la temperatura se mantiene en los mismos valores; mientras que en el tercer muestreo la temperatura del agua se incrementa en 1,2 °C, con respecto al promedio entre 2010 y 2014. En cuanto al pH entre el 2010 al 2014 se ha mantenido entre 6,7 y 7,1 mientras que en los 3 muestreos el pH varió entre 5,4 a 7,7. La concentración de oxígeno disuelto varió entre 6,1 mg/l a 7,1 mg/l, lo que significa que no ha variado mucho en promedio con los años anteriores. La conductividad disminuyó durante los tres muestreos con respecto al promedio entre los años 2010 y 2014 (136

$\mu\text{S/cm}$  a  $120,1 \mu\text{S/cm}$ ), sobre todo si comparamos los datos del 22 de enero con una conductividad de  $25 \mu\text{S/cm}$ .

### **8.1.1.3 Composición Taxonómica y análisis numérico**

#### **Primer Muestreo**

El análisis de las muestras indica que de los 2492 individuos de invertebrados encontrados, 6 pertenecen al Phylum Annelida, 1 al Phylum Mollusca y 2485 al Phylum Artrópoda de los cuales, el 99.8% pertenecen a la clase Crustacea y el restante 0.2% a la clase de los Insecta (Tabla 9).

En cuanto a la densidad de individuos estación 1 es la que presenta lo máxima concentración de individuos (213), mientras que la estación 3 presenta la concentración más baja con 83 individuos. Las estaciones 2 y 4 presentan valores similares de organismos presentes en el medio, 138 y 114 respectivamente (Figura 11).

Analizando los índices bióticos observamos en la Tabla 11, que para el IEPT presenta agua de muy mala calidad, con valores de cero, no se presentaron ningún organismo EPT, en ninguna de las 5 estaciones. En cuanto a los índices BMWP y ABI, se puede observar de acuerdo a éstos índices que el agua es de mala calidad a muy mala calidad, sobre todo en las estaciones 2 y 3. El índice que presenta mejor calidad de agua es el IBF, con agua de excelente calidad (estaciones 1, 2, 4 y 5) a buena calidad del agua (estaciones 3 y 4).

#### **Segundo Muestreo**

En el segundo muestreo se recolectó un total de 267 individuos de los cuales uno era del Phylum Annelida (Oligocheto), uno del Phylum Mollusca

(Spharidae) y 265 del Phylum Artropoda, de los cuales el 95% pertenecen a la clase Crustacea y el restante 5% a la clase Insecta. Esta clase está representada en un 100% por Dípteros, familia Tipulidae y Simulidae. La proporción entre los crustáceos de color canela y verde fue de 131 para los individuos de color canela (55%) y 120 para los individuos de color verde (45%); (Tabla 10).

En las estaciones del segundo monitoreo estaciones 6, 7, 8 y 9 podemos observar que la estación número 9 es la que mayor densidad de organismos por  $m^2$  tiene con 417 organismos, la estación 6 tiene 93 individuos y la de menor densidad es la estación 8 con 4 individuos por  $m^2$  (Figura 12).

En las estaciones 6, 7, 8 y 9 los resultados del índice IBF son altos con valores de cuatro en casi todas las estaciones lo que indica que el agua es de muy buena calidad, mientras que el índice EPT es agua de muy mala calidad, ausencia total de individuos, para los otros índices BMWP y ABI para las estaciones 6, 7 y 8 nos dan valores para calidad de agua muy mala, y para la estación 9 de mala calidad (Tabla 13).

### **Tercer Muestreo**

Se recolectaron un total de 13 individuos de los cuales un individuo del Phylum Mollusca y doce individuos pertenecientes al Phylum Artropoda, repartándose igualmente entre la clase de Crustáceos y de la clase Insectos. Esta clase representada en un 100% por los dípteros de la familia Chironomidae (Tabla 11).

En las estaciones del tercer muestreo, 29 de enero, estaciones 10, 11 y 12, que mayor densidad de individuos por  $m^2$  se encontraron fue en la estación 12

con 112 individuos por m<sup>2</sup>, mientras que la estación con menor densidad de organismos fue la estación 11 con 32 Individuos por m<sup>2</sup> (Figura 13).

Los valores para los índices IBF en las estaciones 10 y 11 del tercer muestreo indican que son aguas muy limpias sin ningún tipo de contaminación orgánica, mientras que para la estación 12 es característica de agua de calidad relativamente mala. Por otro lado el índice BMWP y ABI, para todas las estaciones es característico de aguas fuertemente contaminadas. No se encontraron individuos EPT por lo tanto las aguas dentro de éste índice son característicos de aguas de mala calidad (Tabla 14).

### **8.1.2 Muestreo Río Moyas**

#### **8.1.2.1 Características de las estaciones de muestreo.**

##### **Primer Muestreo**

El río **Moyas** es el tributario con la más baja temperatura, al contrario del Sarpache, no se observan los sedimentos de hierro y sedimentos en general, el color del agua es ligeramente amarillento. Es un río profundo con una capa de vegetación sobre la mayor parte de su extensión, la cual va disminuyendo conforme se acerca hacia el embalse (Figura 14).

Los valores de pH están entre 7,5 y 7,9 mientras la conductividad entre 57  $\mu\text{S}/\text{cm}$  a 61  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Los sitios de muestreo están constituidos de piedras y también se pueden observar áreas de arena. Las profundidades encontradas varían entre 20 y 30 cm y el ancho del río entre de 90 a 270 cm.

## **Segundo Muestreo**

En el segundo muestreo en el río Moyas dadas las condiciones de monitoreo, solo dos estaciones fueron muestreadas. Los dos sitios presentan características idénticas con conductividades de 35  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , valores de pH de 7.1 y 7.4. La temperatura del aire y del agua fueron muy próximas entre sí (alrededor de 6°C) mientras que la del agua normalmente era superior a la del aire. Como consecuencia de estos bajos valores de temperatura se observaron altas concentraciones de oxígeno disuelto, superiores a 7 mg/L. Las profundidades fueron de 15 y 20 cm con un ancho del río de 60 cm por cada estación y una corriente fuerte. Los dos estaciones muestreadas corresponden al medio tipo (vegetación y fondo rocoso) como se puede verificar en la Figura 15 de la estación 4.

## **Tercer Muestreo**

Las estaciones monitoreadas tenían entre 10 y 20 cm de profundidad en algunas partes del río, con anchuras entre 180 a 250 cm. Fueron investigadas dos tipos de velocidades de caudal, una con velocidad media y otra con velocidad alta. El agua seguía siendo ligeramente café debido a los sedimentos arrastrados por los arroyos, lo cual fue observado en la estación 6 y podemos (Figura 16).

### **8.1.2.2 Factores Físico-químicos**

Al fin de evaluar la validez de los datos físico-químicos, se puede comparar los valores obtenidos con datos de otros monitoreos realizados entre 2010 y 2014. Estos datos fueron obtenidos en el mismo periodo de tiempo, es decir entre el 7 de enero y el 11 de febrero. En la Tabla 15 se puede comparar los datos de 7

Enero 2015 con un promedio de los datos desde el año 2010 al 2014 del río Moyas.

La temperatura el agua en el primer muestreo comparada con el promedio entre 2010 al 2014, se puede observar una ligera disminución de 1.9 grados centígrados, mientras que la variación más grande se identificó en el segundo muestreo, con una disminución de 5.4 grados centígrados, en cambio en el tercer muestreo se observó un incremento de la temperatura de 1,1 grados centígrados. En lo que respecta al pH vemos que se ha mantenido con una variación de decimales entre los tres muestreos comparado con el promedio del 2010 al 2014, con un pH casi neutro. La conductividad ha disminuido en gran medida sobre todo si comparamos los datos del segundo muestreo 34  $\mu\text{S}/\text{cm}$  con respecto al promedio del 2010 al 2014 con una conductividad de 126,50  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . En el tercer muestreo no se observa una variación muy grande de la conductividad. 60,5  $\mu\text{S}/\text{cm}$  promedio, contra 74,5  $\mu\text{S}/\text{cm}$  el 29 de enero 2015.

### **8.1.2.3 Composición Taxonómica y análisis numérico**

#### **Primer Muestreo**

Se muestrearon 3 estaciones. Solamente individuos del Phylum Artrópoda fueron encontrados, de los cuales 12.5% pertenecen a la clase Crustacea y 87.5% a la clase Insecta. Los órdenes presentados en la clase de los insectos son indicados en la Tabla 16.

Los Dípteros (mosquitos) constituyen la mayoría parte de los insectos presentes con un porcentaje de 64.3% del total. Luego están los Trichopteros que

se aproximan al 30% de la población, y por último se encuentra el 5% de Efemerópteros (efímeras) y 2.4% de Coleópteros.

La estación 3 es la que presenta la mayor abundancia de organismos, con 225 individuos, mientras que las estaciones 1 y 2 presentan un total de 75 y 92 individuos respectivamente (Figura 17).

Los valores del índice IBF en las primeras tres estaciones del río Moyas, indican que, excepto por la estación 1, las dos otras estaciones presentan una calidad de agua relativamente mala. El índice BMWP confirma que el sistema es muy alterado con valores entre 18 y 32, al igual que en el índice ABI, valores muy parecidos, con pequeñas variaciones en la estación de muestreo 2, con un incremento en el valor; pero de igual manera corresponde a aguas de mala calidad. Lo mismo que el índice EPT que indica que la calidad se sitúa entre mala a regular (Tabla 19).

## **Segundo Muestreo**

Se tomaron muestras en dos estaciones, 4 y 5, en total se encontraron nueve individuos, seis en la estación 4 y tres en la estación 5, todos pertenecen al Phylum Artropoda, con 11% de Crustáceos, 11% de Arácnidos y 78% de Insectos. En esta clase, se encontraron 71% de Dípteros y 29% de Trichopteros (Tabla 17).

El número de individuos por metro cuadrado fue de 25 Ind/m<sup>2</sup> en la estación 4 y 15 Ind/m<sup>2</sup> en la estación 5, por lo tanto la estación 4 presenta casi el doble de individuos que la estación 5 (Figura 18).

En el segundo muestreo, 22 de enero, se puede observar que los valores para el índice IBF se muestran valores iguales, con aguas de buena calidad, mientras que para los valores BMWP la estación 4 indica agua de mala calidad,



mientras que la estación 5 se presenta agua de muy mala calidad. En cuanto al índice ABI, se puede observar que los valores para las dos estaciones son muy similares, y corresponden a aguas de mala calidad a muy mala calidad.

Se puede observar el índice EPT en la estación 4 es característico de agua de muy mala calidad y en la estación 5 de mala calidad. (Tabla 20).

### **Tercer Muestreo**

En el tercer muestreo se recolectaron un total de 96 individuos en las 4 estaciones muestreadas, de los cuales cuatro del Phylum Annelidae y 92 del Phylum Artropoda repartiéndose a 4% por la clase Crustacea y 96% para la clase Insecta. Esta clase era representada con 91% por los Dípteros, 6% por los Tricópteros y 3% por los Coleópteros (Tabla 18).

En cuanto a la densidad de organismos encontrados en las cuatro estaciones, en la estación 6 se encontró la mayoría de individuos, 560 (Ind/m<sup>2</sup>), mientras que la estación con menor densidad de individuos es en la estación 7 con 112 (Ind/m<sup>2</sup>) (Figura 19).

En el tercer muestreo, en las estaciones 6, 7, 8 y 9, los valores para todos los índices bióticos dan como característica del río Moyas agua de relativamente mala calidad como en el caso de índice IBF a agua muy contaminada tanto como para el índice BMWP, como para el índice ABI. En el caso del EPT da como resultado agua de muy mala calidad. Todos los datos son homogéneos, y todas las estaciones presentan datos muy similares (Tabla 21).

### **8.1.3 Muestreo río Alambrado**

#### **8.1.3.1 Características de las estaciones de muestreo.**

##### **Primer Muestreo**

Se tomaron muestras en 4 estaciones, es el tributario de los tres en estudio que presenta los más altos valores de conductividad, al mismo tiempo que presenta los valores más bajos de pH. Estos valores son los menos variables entre ellos, de 7.25 a 7.28 de pH y de 136 a 138  $\mu\text{S}/\text{cm}$  de Conductividad. Se encontraron huesos de vacunos y conejos alrededor de este río en la parte de la desembocadura. Las profundidades encontradas varían entre 10 y 20 cm y el ancho del río de 150 a 214 cm. Este río se parece al río Moyas a diferencia que no tiene la misma capa vegetal (Figura 20).

##### **Segundo Muestreo**

En el segundo muestreo, por las mismas circunstancias del río Moyas, únicamente dos estaciones fueron monitoreadas, estación 5 y estación 6, la diferencia entre los dos es que la segunda estación es el doble de ancho con respecto a la primera (160 contra 80 cm). Las concentraciones de oxígeno disuelto fueron de 7 mg/l, la conductividad de 82.2  $\mu\text{S}/\text{cm}$  y el valor de TDS de 53 mg/L para ambas estaciones El pH fue de 6.25 y 6.63, respectivamente, es decir, ligeramente ácido.

Los medios muestreados correspondieron al tipo más representativo, con un poco de vegetación en la segunda estación (Figura 21).

### **Tercer Muestreo**

En el tercer muestreo del 29 de enero, fue el río con más bajas profundidades monitoreadas, entre 5 y 15 cm, con anchuras entre 100 y 200 cm. En las siguientes fotografías podemos ver las estaciones muestreadas. Se muestrearon 3 estaciones, estación 7, estación 8 y estación 9 (Figura 22).

#### **8.1.3.2 Factores Físicos-químicos**

Al fin de evaluar la validez de los datos físico-químicas, se puede comparar los valores obtenidos con datos de otros monitoreos realizados entre 2010 y 2014. Estos datos fueron obtenidos en el mismo periodo de tiempo, es decir entre el 7 de enero y el 11 de febrero. En la Tabla 22 se puede comparar los datos de 7 Enero 2015 con un promedio de los datos desde el año 2010 al 2014 del río Alambrado.

La temperatura del agua del río Alambrado en promedio entre los años 2010 y 2014, está alrededor de los 10 grados centígrados, el cual permanece con una pequeña variación de temperatura en el muestreo del 29 de enero, 10 grados centígrados de promedio en las estaciones, en cambio en el muestreo del 22 de enero existe una disminución de la temperatura del agua, 7,6 grados en el mes de enero 2015 y promedio de 10,2 entre el 2010 y 2014.

Los valores de pH se mantienen cerca de valores neutros, sin mucha variación comparado los tres muestreos con el promedio de los 4 últimos años, el valor de pH más alto se observa en el primer y tercer muestreo, con un valor de 7.3.

El oxígeno disuelto en los tres muestreos se encuentra la concentración en valores normales entre 7,7 mg/l en el primer muestreo y una concentración de 7 mg/l en los dos últimos muestreos, la concentración promedio entre los años 2010 y 2014 fue 6,5 mg/l.

La conductividad,  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , varía en cada uno de los muestreos, siendo el 29 de enero el valor más alto, 171.4  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . En el muestreo del 22 de marzo se obtuvo el valor más bajo, 82  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . El promedio de la conductividad entre los años 2010 y 2014 se mantuvo relativamente constante entre 152,5 y 154,5  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ,

### **8.1.3.3 Composición Taxonómica y Análisis Numérico**

#### **Primer Muestreo**

Se encontraron dos Phylums de invertebrados Phylum, uno de Annelida con un individuo y el Phylum Artrópoda con 25 individuos, de los cuales cuatro individuos pertenecen a la clase Crustacea (16%) y 24 individuos de la pertenecen a la clase Insecta (84%). En la clase de los insectos (Tabla 23).

En la estación 4 es donde se presenta la mayor densidad de macroinvertebrados 42 Ind/m<sup>2</sup>, mientras que la estación 2 presenta una baja densidad 8 Ind/m<sup>2</sup>, la estación 1 y 3 presentan densidades similares. (Figura 23).

Los Índices Bióticos para las 4 primeras estaciones, presentan los mejores resultados en las estaciones 1 y 4 de acuerdo a IFB, mientras que para los otros tres o índices EPT, BMWP y ABI; en las estaciones 1 y 4 indican una calidad de agua de mala a regular, y para las estaciones 2 y 3, los mismos Índices indican agua muy contaminada (Tabla 26).

#### **Segundo Muestreo**

En el segundo muestreo el número total de individuos recogidos en el Alambrado fue de 14, de los cuales dos del Phylum Annelida y 12 del Phylum Artropoda; de los cuales 25% pertenecen a la clase Crustacea y 75% a la clase Insecta. Esta clase (Insecta) representada por el 11% de Trichópteros, el 33% por los Dípteros y 56% por Coleópteros (Tabla 24).

En el segundo muestreo de las estaciones 5 y 6, la estación con mayor densidad de individuos se colectaron en la estación 6 con 80 Ind/m<sup>2</sup>, mientras que la estación 5 con una densidad de 33 Ind/m<sup>2</sup> (Figura 24).

En el segundo muestreo de la estación 5 y estación 6, se puede observar en este cuadro que los índices IBF obtenidos indican por el mismo río una calidad de agua de muy buena características para la estación 5 a relativamente mala para la estación 6. Los otros tres índices, EPT, BMWP y ABI, indican que el sistema está fuertemente alterado. La ausencia de individuos de los órdenes efemerópteros, plecópteros y tricópteros ocasiona la obtención de valores muy bajas para el índice EPT, en la estación 6 (Tabla 27).

### **Tercer Muestreo**

Se colectaron un total de 59 individuos de los cuales dos macrobentos pertenecen al Phylum Annelidae y 57 al Phylum Artropoda de los cuales el 88% representantes de la clase Insecta. Esta clase era representada a 91% por Dípteros y 9% por los coleópteros (Tabla 25).

En el tercer muestreo, estación 7, estación 8 y estación 9; la mayor densidad de macrobentos (Ind/m<sup>2</sup>), se encontraron en la estación 7, con 560 Ind/m<sup>2</sup> donde la velocidad de la corriente era mayor, mientras que la más baja densidad se encontraron en la estación 9 con 40 Ind/m<sup>2</sup> (Figura 25).

En el tercer muestreo, 29 de enero, de las estaciones 7, 8 y 9, podemos observar que para el índice EPT el agua en estas 3 estaciones es de mala calidad, no se encontró ningún organismo base para el cálculo de éste índice. El índice BMWP para las tres estaciones indica igualmente que el agua está fuertemente contaminada al igual que el índice ABI, el índice IBF indica que el agua es muy mala calidad, con alta contaminación por sustancias de origen orgánico (Tabla 28).

## **8.2 Lista de Macrobentos encontrados en los Ríos Tributarios del embalse La Mica**

Se encontraron 22 taxas de macroinvertebrados acuáticos correspondientes a tres Phyla que son: Annelida, Molusco y Artropoda (Tabla 29). El Phylum con mayor número de registros fue Arthropoda representado por los Crustáceos (dos familias, Hyalellidae y Asellidae), los arácnidos (una familia de Acari, Hygrobatidae) y cinco órdenes de insectos (Dípteros, Coleópteros, Tricópteros, Efemerópteros y Odonatos). El orden Insecta que registra más reportes es el de los Dípteros, con seis familias (Blepharoceridae, Ceratopogonidae, Chironomidae, Limoniidae, Simuliidae y Tipulidae).

## 9 DISCUSIÓN

### 9.1 Análisis de las características ambientales de los ríos Sarpache, Moyas y Alambrado. Relación entre abundancia y diversidad de los organismos identificados.

A causa de la altura, se esperaba registrar una pequeña diversidad de macrobentos. Algunos estudios realizados sobre el gradiente de altura en los Andes de Ecuador han mostrado que la riqueza en las familias de macroinvertebrados, en sitios situados por encima de los 4 000 msnm, es la mitad que la de sitios comparables situados al nivel del mar (Jacobsen y Martin, 2007).

Efectivamente, los números de individuos encontrados fueron bajos excepto en el Sarpache donde se encontraron mayor cantidad de Crustáceos. Estos organismos parecen ser capaces de vivir en condiciones ambientales en las cuales otros organismos no son capaces de desarrollarse, debido a la falta de oxígeno y alta temperatura, como se pudo observar en la muestra correspondiente a la estación 8 del río Sarpache. Esta fuente de agua caliente que presentó una concentración de oxígeno cercana de 0 mg/l, una temperatura del agua de 19 °C, contenía un solo organismo viviendo correspondiente a la familia Hyalellidae (Figura 26).

### **Los Crustáceos**

En la estación 5 del Sarpache fue evidente que la proporción de crustáceos (2 400 individuos) de la familia Hyalellidae, fue mayor debido probablemente a una eclosión de nuevos individuos, por su tamaño y cantidad.

La estación 5 del Sarpache que presentó el valor más alto de conductividad (196  $\mu\text{S/cm}$ ) corresponde a la estación que contiene el más grande número de crustáceos. Así que este parámetro no parece influir tampoco sobre el carácter presente/ausente de este orden.

### **Los Dípteros**

En los tres ríos de La Mica fue encontrada la familia de Chironomidae, durante el primer monitoreo, que indica un estado mesotrófico del agua (estaciones: Sarpache 5; Moyas 1, 2 y 3; Alambrado 3, 4 y 6). Al mismo tiempo, se encontraron individuos de la familia Simuliidae (estaciones Sarpache 9; Moyas 2 y 3 ; Alambrado 4 y 6), es una familia más exigente que vive en aguas limpias, y se muestrearon en tres estaciones comunes, y organismos del orden Chironomidae que fueron incrementando cada vez. Esta aparente ambigüedad puede traducirse por una degradación de la calidad del ambiente con un cambio de las familias más exigentes por las más tolerantes. El Alambrado es el único que presenta otras familias de Dípteros como los Limoniidae, los Blepharoceridae y los Ceratopogonidae, este ultima familia indicadora de un estado mesotrófico, presente en gran cantidad en el río Moyas y menos en el río Alambrado, es así que el río Alambrado, en el primer muestreo, presenta un mejor estado trófico que los otros dos ríos, Moyas y Sarpache.



El monitoreo del 22 de enero se muestra un cambio de proporción con un número de Simuliidae más importante. Al mismo tiempo, debido a un brusco cambio del régimen hidráulico de los ríos debido a la aparición de un periodo de lluvia y al incremento del caudal. En el río Sarpache por ejemplo, corresponde a una limpieza natural de los fondos por el incremento de caudal, los cuales que no estaban presentes antes en este río (1 solo Chironomidae detectado en el momento del monitoreo del 7 de enero).

### ***Los Coleópteros***

En el monitoreo del 7 de enero, estaban presentes en la estación 4 del Sarpache, en Moyas en la estación 2 y 3 (velocidades de la corriente mediana y rápida) así también que el Alambrado, estaciones 1,3 y 4 (velocidad fuerte). Estas estaciones no presentan características en particular para explicar esta repartición a parte el régimen de velocidad. Lo que se observa es que estos organismos estaban presentes en un 75% de las estaciones del Moyas y 80% en las estaciones del Alambrado del monitoreo de 7 de enero, mientras que lo son solamente de 20% en el Sarpache. La familia presentada es Elmidae que es una familia más bien exigente en las concentraciones de oxígeno lo que hace pensar siguiendo las conclusiones precedentes que el Alambrado y el Moyas presentan las mejores condiciones ambientales.

En el momento del monitoreo 22 de enero se encontraron en una única estación, la del Alambrado 5 en proporciones más importantes que durante el monitoreo del 7 de enero con 3 en total de todas las estaciones, en este mismo río. Se puede explicar por la capacidad de los coleópteros de reponerse a una

perturbación bastante rápido; además, el Alambrado, al parecer, presenta las condiciones óptimas de vida, al ser el primero donde reaparecen.

En el 3 monitoreo del 29 de enero, la población se mantiene en el Alambrado en las estaciones 7 y 8 con velocidades alta y media con 5 individuos. Tres individuos son muestreados en las estaciones 8 y 9 (una en la estación 8 y dos en la estación 9) del río Moyas que presentan las velocidades de la corriente más importantes de las 4 estaciones investigadas.

Así que como lo explicado en la bibliográfica taxonómica, los coleópteros de la familia Elmidae se encuentran solamente en las aguas corrientes y se puede observar que su presencia en el muestreo del 22 de enero, muestra su carácter de resistencia. Entonces, su ausencia indica una alteración de la calidad del agua o del medio en este tipo de caso.

### ***Los Tricópteros***

Ningunos fueron encontrados en el río Sarpache mientras que estuvieron presentes en casi todas las estaciones del río Moyas y en las estaciones 1, 4 y 5 del río Alambrado. Las familias presentadas son Hydrobiosidae y Limnephilidae que presentan valores de tolerancia muy parecidas. Estos organismos son muy exigentes y sus presencias indican una buena calidad del agua en los ríos Moyas y Alambrado. Por otra parte, se observa que están presentes en solamente 2 estaciones del monitoreo del 22 de enero, en la estación 5 del río Moyas y en la estación 5 del río Alambrado, que se diferencian respectivamente de las estaciones monitoreadas de los mismos ríos por valores de pH ligeramente superiores (organismos muy sensibles a los pH ácido). Al momento del monitoreo

del 29 de enero, se encuentra solamente en el río Moyas, en las estaciones 6 8 y 9.

Comparando los parámetros del ambiente entre el Moyas y el Alambrado, se observa que sistemáticamente, de los 2 ríos, el Alambrado es el que presenta las más altas valores de conductividad y TDS mientras que el Moyas tiene las valores de pH las más elevados (básicos). Estas observaciones pueden explicar porque el Moyas es el río de los tricópteros (no tolerantes a los pH ácidos) y el Alambrado es el río de los coleópteros (TDS y conductividad dan prueba de la presencia de detritos fuente de comida por los coleópteros).

### ***Los Efemerópteros***

Se encontraron en el Moyas, en las estaciones 1 y 3 durante el monitoreo del 7 de enero, que presentan las zonas más anchas del río (270 y 270 cm) y valores de pH superiores a 7,5. Este valor de pH es muy importante porque son organismos que no soportan los pH ácidos. Esta puede ser la causa de su ausencia del Alambrado mientras que los anchos de las estaciones de este río son similares a los del Moyas pero donde los valores de pH son inferiores a 7,3.

Sus desaparición del Moyas al momento del monitoreo 3 puede explicarse por la necesidad de tiempo de estos organismos por recuperarse un medio después de una perturbación. Como al momento del monitoreo del 29 de enero donde el valor de pH sigue bajo (pH 6.94), lo que puede explicar su ausencia. Debido al carácter exigente de éstos organismos, como la familia Baetidae, indican de la buena calidad del estado trófico del río Moyas en la estación 1 y 3 durante el monitoreo del 7 de enero.

La causa probable que no se encontraron muchas familias de Efemerópteros es que pocas familias ocurren sobre los 2 000 metros de altura (Jacobsen, 2008),

### ***Los Plecópteros***

Ningunos de estos fueron encontrados en todos los ríos tributarios, durante todos los monitoreos. Esto puede explicarse por la altura del sitio de estudio o debido a su ambiente particular antes que del carácter contaminado o no de las estaciones investigadas.

Las bajas abundancias de organismos a estas alturas pueden ser una fuente de error dependiente del área de monitoreo. La superficie muestreada con una red Surber es de 250 cm<sup>2</sup> así que durante nuestros monitoreos las áreas investigadas eran a lo menos de 3 veces más grandes por las pequeñas estaciones así que se puede considerar que se reduce la importancia de sub-evaluación.

El mes de enero corresponde a un cambio de régimen entre el fin del periodo seco y el principio del periodo de lluvia. Se puede observar que todos los parámetros presentan una mínima concentración durante el segundo muestreo debido, probablemente, a la limpieza de los ríos por el incremento de los caudales. En efecto, al momento de este monitoreo se pudo notar la desaparición de la coloración del agua en cada uno de los ríos, el incremento de la velocidad del corriente sobre las mayor partes de los cursos y la disminución de los valores conductividad. El pH de los ríos disminuyó también debido a la composición del suelo de las partes altas de las cuencas de los ríos que es acidificaron.

Así que el mes de enero corresponde a la re-colonización del medio por los organismos. Se traduce por el incremento del número de individuos por m<sup>2</sup> en el Alambrado y el Moyas. Al mismo tiempo los valores de índices indican una situación atenuada. En el Moyas y el Alambrado, los valores de IBF se deterioran mientras que se mantienen en el Sarpache. Los valores de BMWP, ABI y EPT se quedan estables en el Sarpache y en el Alambrado, pero en el Moyas los índices de EPT disminuyen.

## **9.2 Interpretación de los Índices Bióticos.**

Cuatro índices bióticos fueron estudiados, dos que son de tipo cuantitativo, IBF y EPT, y dos que son de tipo cualitativo, índice BMWP y el ABI. Son índices han sido utilizados en varios países de América del Sur y específicamente en Ecuador por el IRD y por investigaciones del Dr. Jacobsen, con bastante éxito. A continuación se va a analizar los resultados de este estudio por cada tributario.

La ausencia de algunos EPT en los arroyos del Altiplano Boliviano (Jacobsen 2008) complica la utilización de este índice debido a sus bajos valores obtenidos, que pueden ser debidos a la altura y no a un impacto humano o ambiental. Es lo que se observa en nuestro caso con la ausencia de los plecópteros y la casi ausencia de los efemerópteros. En cambio el índice del BMWP, se utiliza en Bolivia en los mismos rangos de altura (Jacobsen y Marín, 2007). Solamente en las regiones tropicales andinas se pueden encontrar dos familias de Plecópteros (Perlidae y Gripopterydae), (Jacobsen, 2008)

Al fin, los valores de tolerancia no fueron adaptados al lugar del estudio lo que puede, por parte, explicar los resultados obtenidos. Sin embargo, todos los estudios les utilizan así que pienso que las bajas valores de los índices (sin

considerar el aspecto de contaminación) pueden ser explicadas por las características del sitio.

### **9.2.1 Interpretación de los Índices Bióticos en relación con el análisis taxonómico**

#### **9.2.1.1 Río Sarpache**

Este río presenta valores muy buenos para el índice IBF, mientras que el de EPT, que es el mismo tipo de índice (cuantitativo), son iguales a cero. Este valor es debido a la ausencia continuada de los organismos característicos utilizados por su evaluación. Puede explicarse por los parámetros de los medios más que por los de la calidad del agua. El hecho de que ninguno fue encontrado al momento de los monitoreos de este tributario, no permite realizar conclusiones utilizando este índice que no tiene ningún valor de interpretación.

Los valores del índice BMWP se pueden explicar por las razones anteriormente expuestas, en contraste con el índice ABI adaptado del BMWP para las estribaciones altas de los Andes, que presentan iguales valores.

Lo que importa al fin para determinar la calidad del agua no es el carácter cuantitativo sino la calidad de los organismos encontrados. Se verifica particularmente en nuestro caso con el efecto de la altura que influye sobre la cantidad de organismos (Jacobsen, 2008). La falta de correlación entre los índices cualitativo y cuantitativo se explicaría de esta manera. Los organismos poco exigentes pueden ser representados en gran cantidad pero no son indicativos del buen estado del medio, lo que resulta en índices cualitativos bajos. Se debe tener en cuenta los diferentes valores para obtener un resultado significativo de evaluación de la calidad del agua (Jacobsen y Marín, 20017).

Utilizando los índices bióticos como indicativos de buena calidad del agua, resultaría que el río Sarpache no tiene agua de buena calidad. Es interesante de precisar que los índices bióticos fueron desarrollados para analizar el enriquecimiento orgánico en cuerpos loticos de sustrato de piedras donde la gran variedad de macroinvertebrados mayormente sensibles pueden ser encontrados. Estos índices han sido criticados (pero no en la literatura científica) (Ríos-Touma, 2014), por estar siendo usados para analizar tipos de contaminación o por estar siendo utilizados en otros tipos de hábitat como de sustrato de macrófitas (vegetación), Así que otra explicación de los resultados puede ser que estos índices no pueden ser utilizados en el río Sarpache ya que no presenta las condiciones adecuadas (Ortega, 2003). En efecto, en el Sarpache se encuentran máximo 5 familias diferentes dentro de los Oligochetos, Mollusca, Crustáceos y Dípteros, así que la determinación del índice BMWP no cambia de un monitoreo a otro, al igual que para el ABI.

#### **9.2.1.2 Río Moyas**

De las 9 estaciones investigadas, 3 presentaron agua de calidad buena a regular, 2 de calidad mala y 4 de relativamente mala. Al mismo tiempo, algunas estaciones que presentan valores de IBF altas presentan valores de BMWP y ABI también altos lo que debería ser el contrario. La razón es la misma que explicada preciadamente en el caso del Sarpache. Los índices BMWP y ABI indican que el sistema está alterado lo que confirman los valores del índice EPT que son bajos y oscilan entre un estado mala calidad a calidad regular. Pero, estos valores de EPT deben ser consideradas con cautela según los estudios llevadas por Jacobsen (Jacobsen, 2008).

Al nivel de estos índices, en el tercer monitoreo, el índice BMWP y ABI son iguales a los de los otros monitoreos, lo que se puede explicar por la recolonización del número de organismos. Al mismo tiempo, los organismos más sensibles necesitan más tiempo para repoblar el medio, lo que se traduce en los bajos valores de EPT e IBF. En efecto, los organismos presentados son los que pueden aclimatarse rápidamente y tienen valores de tolerancia más bajas (Encalada et Al, 2011).

Estos organismos, llamados “resistentes”, son de pequeño tamaño con una vida corta. Pueden respirar aire atmosférico lo que los permite sobrevivir en aguas con poco oxígeno. Lo que se puede observar en los monitoreos es que, los Dípteros, y particularmente los Chironomidae son los que reaparecen el 29 de enero, y corresponden a estos grupos de organismos (Marquese, 2004).

El río Moyas presenta una población regular pero alterada. Este carácter puede ser ligado con la altura y no corresponde forzosamente a un estado contaminado. En efecto, al mismo tiempo se encuentran familias de carácter exigente de tipo Tricópteros y Efemerópteros.

#### **9.2.1.3 Río Alambrado**

Los índices obtenidos muestran que este río se encuentra en un estado más alterado que el Moyas con valores BMWP y ABI más bajos; y valores de IBF similares. Al mismo tiempo, los análisis taxonómicos indican, a través la diversidad de Dípteros y Coleópteros así como la presencia de Tricópteros, que el estado de éste río no es tan malo. Como en el caso del río Moyas, dónde la expresión de alterado puede corresponder a un estado característico para un



medio de altura. Además, la presencia de organismos más exigentes puede hacer pensar que el sistema está recuperándose.

Lo que se observó en el tercer monitoreo es un fenómeno igual a lo sucedido en el río Moyas. Los Organismos sensibles no reaparecen inmediatamente después de entrado el período de lluvias, los valores nulos de EPT e incremento de los IBF indican una deterioro de la calidad del agua. La presencia de organismos menos sensibles se traduce por el mantenimiento de los valores de BMWP y ABI.

El río Alambrado se encuentra en un estado intermediario entre el del Sarpache y el del Moyas.

## 10 CONCLUSIONES

La calidad del agua de los tributarios puede ser difícilmente evaluada con solamente 3 monitoreos, sin datos anteriores en relación con la composición de las comunidades de macrobentos del área de estudio y durante en tan solo 2 meses del año. Lo que se puede observar es que el estado alterado del agua basado en los índices no es de muy buena calidad, aunque en el Moyas y el Alambrado, la diversidad de organismos encontrados no sea tan mala.

El estado de estrés puede ser debido a la altura sobre el nivel del mar de los sitios de muestreo o al cambio de régimen climático. Los organismos encontrados al momento de los monitoreos son en su gran mayoría de pequeño tamaño, lo que se explicaría, si utilizamos los resultados de otros estudios, que el tipo de contaminación es más de carácter orgánico. En efecto, los suelos alrededor del embalse son ricos en materia orgánica (30 primeros centímetros son constituidos de material orgánico de color oscuro a negro).

Solo, el estudio del macrobentos no permite poner en evidencia una contaminación otra que de tipo orgánica. Es por lo que, este monitoreo debe hacerse en complemento del monitoreo físico-químico. Es necesario utilizar y confrontar algunos índices para la interpretación de los resultados y de realizar una comparación entre los datos físico-químicas y los datos de bioindicadores.

Desde un punto de vista económico, la realización de este estudio costó aproximadamente \$210. Este precio incluye la compra de frascos, alcohol, el alquiler de una red por el segundo monitoreo, la compra de una red y una lámpara con lupa, es decir que no es un estudio que necesita mucho dinero y que permite

al mismo tiempo entender mejor las fluctuaciones de calidad del agua en los tributarios de la Mica. Las ventajas son más importantes que las desventajas.

## 11 RECOMENDACIONES

La EPMAPS debería realizar conjuntamente con monitoreo físico-químico de la Laguna de La Mica y de los otros embalses que la empresa tiene a su cargo, el muestreo de macroinvertebrados como bioindicadores de la calidad del agua, tres muestreos no es suficiente como para indicar claramente el estado en que se encuentran los tributarios del embalse. El muestreo se lo puede realizar cada tres meses, tal como se está realizando el monitoreo actualmente.

Se podría emplear el índice ABI, el cual es una adaptación del índice BMWP, para las estribaciones de los Andes, sobre los 2 000 metros de altura, pero sería muy importante realizar una adaptación para este ecosistema, tomando en cuenta que no todos los organismos tienen la misma distribución y varían de un lugar a otro (Ríos-Touma,2014).

## 12 REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Armengol J., **“Análisis y valoración de los embalses como ecosistemas”**,  
Departamento de Ecología, Facultad de Biología, Universidad de Barcelona.
- Ayabaca E. y De La Cruz A., **“Proyecto de agua potable La Mica- Quito Sur”**,  
Préstamo BID 823/OC-EC, 1993.
- Basaguren A. y Orive E. **Los Insectos Tricópteros como indicadores de la  
calidad del agua en los ríos de Vizcaya**, Diputación Foral de Vizcaya,  
España, 1991.
- Berner E.K. y Berner R.A., **“Global Environment: Water, Air and Geochemical  
cycles”**, 1996, ed Printice Hall, Yale universidad.
- Bilbao A., y González J., **Evaluación del estado de conservación de una zona  
LIC usando los coleópteros acuáticos como indicadores**, Vol 28,  
España, 2000.
- Ríos-Touma B., et Al, **The Andean Biotic Index (ABI): revised tolerance tom  
pollution values for macroinvertebrate families and index performance  
evaluation**, España, 2014.
- Black J.M y Moore A., **Primer seminario-taller de conservación, planificación y  
manejo de áreas naturales y biota del Ecuador**. Organizado por Instituto  
Smithsoniano, Programa de Diversidad biológica MAB/UNESCO,  
Washington y Fundación Charles Darwin. Documento GA 169, 1989
- Casallas J. y Gunkel G., **“Algunos aspectos limnológicos de un lago  
altoandino: el lago San Pablo”**, Limnetica 20(2): 215-232, 2001.

Endara K., **Informe limnológico de la laguna La Mica**, documento GA 1.32, 1999

Encalada C. et Al, **Protocolo Simplificado y Guía de Evaluación de la Calidad Ecológica de Ríos Andinos**, Ecuador, 2011

Carrera C. y Fierro C., **Manual de Monitoreo. Los Macroinvertebrados Acuáticos Como Indicadores de la Calidad del Agua**, Ecociencia, Quito, 2001.

De la Lanza G.y González J., **Organismos Indicadores de la calidad del agua y de la contaminación**, México, 2000

FONAG (Fondo para la protección del Agua), **Carpeta informativa sobre el agua para Quito**, programa de Educación Ambiental 2004.

Fondo del Agua para la Conservación de la Cuenca del río Paute, (FONAPA), Ecuador, 2008.

Forero et Al, **Evaluación de la calidad del agua del río Opia mediante macroinvertebrados acuáticos y parámetros físico-químicos**, Colombia, 2013.

Fundación Natura por la conservación de la naturaleza, **Proyecto monitoreo de la calidad del agua potable en la ciudad de Quito** con participación del sector privado. Informe final del proyecto. Julio 1999., documento GA 310.

Fossati O., **“Métodos de campo para el muestreo de macroinvertebrados acuáticos”**, IRD – FONAG, 2007

Gamboa M. et Al, **Macroinvertebrados bentónicos como bioindicadores de la salud ambiental**, Boletín de malariología y salud ambiental, España, 2008.

Giacometti J., Bersosa F., **Macroinvertebrados Acuáticos y su importancia como bioindicadores de la calidad del agua en el río Alambi.**, Boletín Técnico, vol. 6, Ecuador, 2006.

Hilsenhoff W., **Rapid Field Assesments of Organic Pollution With A Family Level Biotic Index**, Journal Of The North American Benthological Society. USA, 1988

Instituto Nacional de Metereología e Hidrología, (INAMHI), **Boletín Climático Anual**, Ecuador, 2013

Jacobsen D. y Marín R., **“Bolivian Altiplano streams with low richness of Macroinvertebrates and large diel fluctuations in temperature and dissolved oxygen”**, Bolivia, 2007

Jacobsen D., **“The effect of organic pollution on the macroinvertebrate fauna of Ecuadorian on highland streams”**, Freshwater biological laboratory, University de Copenhagen, Arch. Hydrobiol 143 2 179-195, 1996

Jacobsen y Al, Tropical stream ecology, chapter 4, **“Macroinvertebrates: composition, life histories and production”**, 2008,

Lebrunet J. y Rosero D., **Clave taxonómica para los invertebrados acuáticos de la zona de Papallacta**, Ecuador, 2008.

Leiva Flores M.J., **“Macroinvertebrados bentónicos como bioindicadores de calidad de agua en la cuenca del estero Peu Peu comuna de Lautaro IX**

**región de la Araucanía**”, tesis de la universidad católica de Temuco, facultad de ciencias, 2004

Ministerio del Ambiente, **Ley de Gestión Ambiental**, Registro Oficial 213, Ecuador Marzo 2014,

Manual para muestreo de aguas y sedimentos, Junio 1998, Recopilación bibliográfica, Dirección de medio ambiente, Quito metropolitano.

Marquese M. y Paggi A., **Diversidad de Oligochaeta (Annelida) y Chironomidae (Diptera) del litoral fluvial argentino**, Argentina, 2004.

**Manual de evaluación de la calidad el agua**, Centro Nacional del Medio Ambiente y Laboratorio Limnología de la facultad de ciencias Universidad de Chile, , 2006

Naranjo L., et Al, **Biological Monitoring Working Party, un índice biótico con potencialidades para evaluar la calidad del agua en ríos cubanos**, Cuba, 2013.

Needham J.G.y Needham P.R., **Guía para el estudio de los seres vivos de las aguas dulces**, traducción adaptada para España y América, editorial reverte, 1982.

Ministerio del Ambiente, **División Hidrográfica del Ecuador**, Ecuador, 2002.

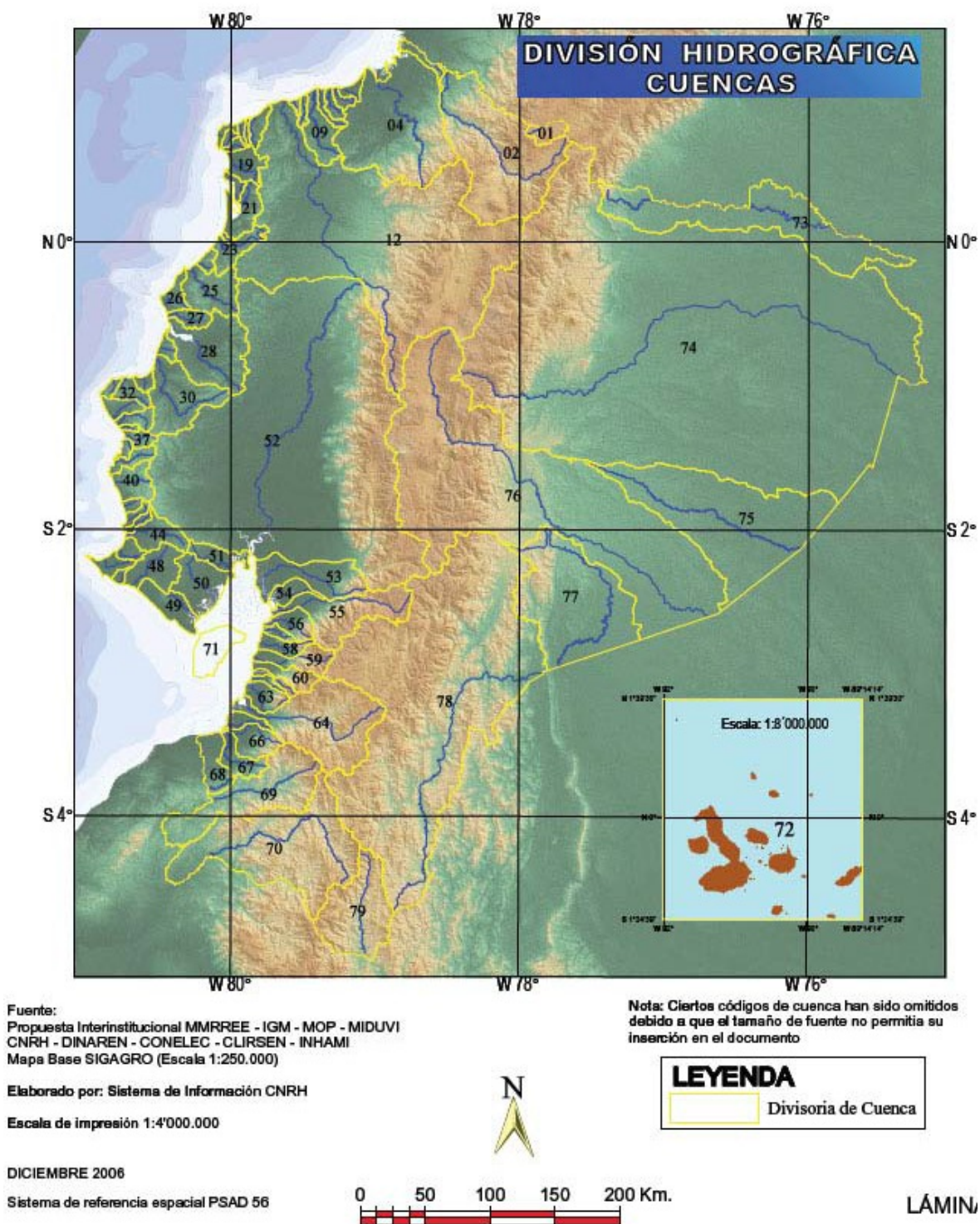
Ortega y Al, **Informe trimestral sobre el monitoreo de la actividad de Pesca e hidrobiología en el Bajo-Urubamba**, Investigadores del Departamento de Ictiología, Museo de Historia Natural, 2003

Roldan G., **Los macroinvertebrados y su valor como indicadores de la calidad del agua**, Academia Colombiana de Ciencia, Colombia, 1999.

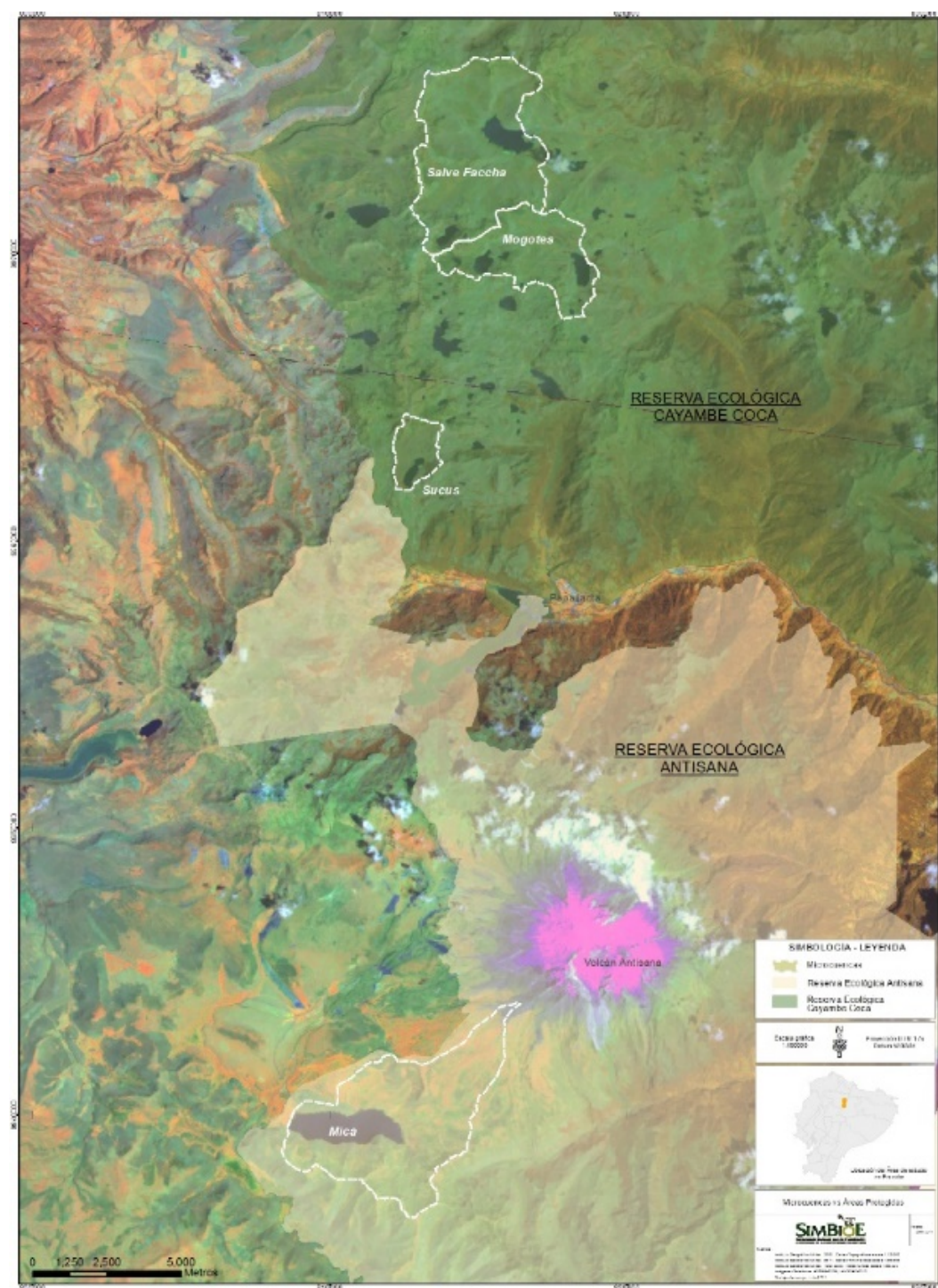


- Rojas Romero J.A., **Calidad del agua**, editorial Escuela Colombiana de Ingeniería, 2002
- Rosero D.y Girard V., “**Protocolo de limpieza de las muestras de bentos**”, IRD – FONAG, 2008
- Rinderhagen M. et Al, **Crustaceans as bioindicators**, Environmental Research Forum, vol 9, Germany, 2000.
- Salas L., “**Análisis preliminar de la biodiversidad del macrobentos en cursos de agua pertenecientes a la cuenca del río del Valle** (Catamarca, Argentina)”, Congreso Regional de Ciencia y Tecnología y Producciones Científicas, sección: ciencias de la tierra y ambiente, 2003
- Salinas M. y Edivar N., **Que es un Bioindicador? Aprendiendo a partir del ciclo de indagación guiada con macroinvertebrados bentónicos**. España,
- Segnini S., “**El uso de los macro-invertebrados bentónicos como indicadores de la condición ecológica de los cuerpos de agua corriente**”, Ecotropicos,16(2):45-63, Sociedad Venezolana de Ecología, 2003
- Standard methods for the examination of water and wastewater**, 21st edition, Centennial edition.

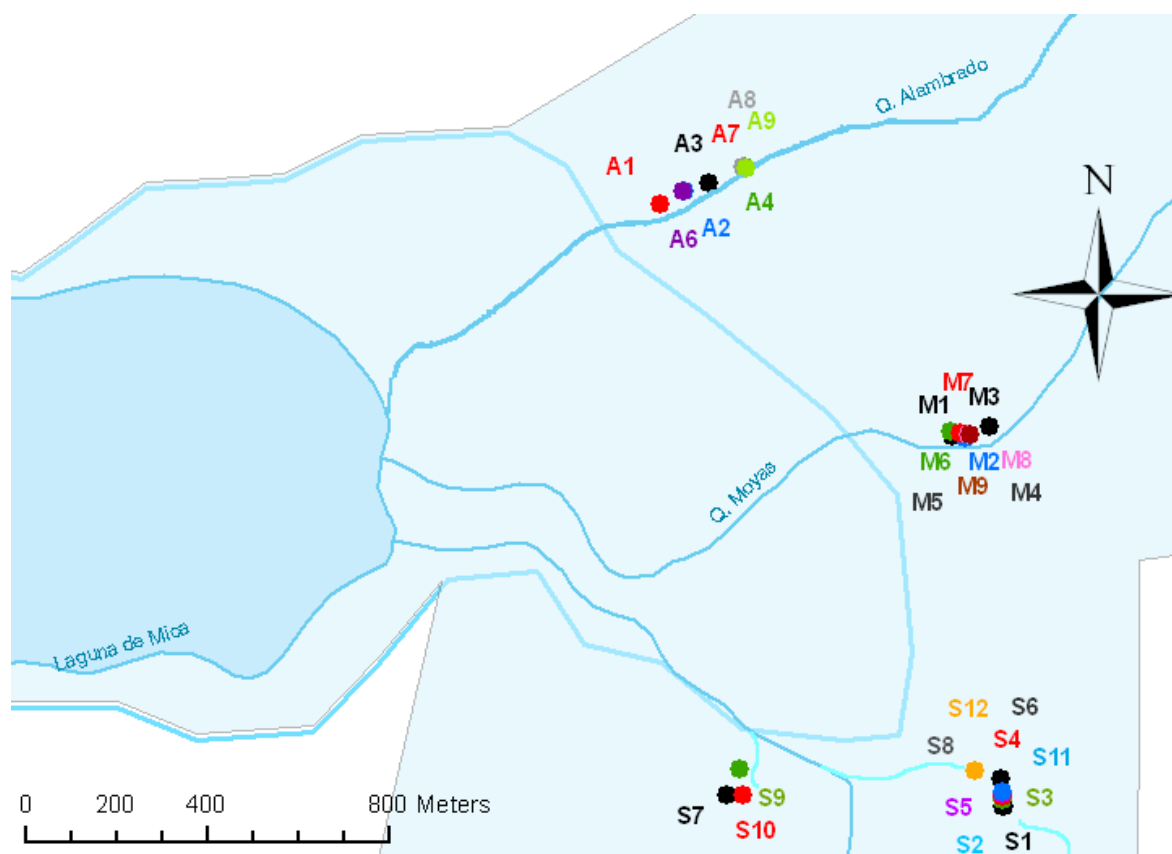
## 13 FIGURAS



**Figura 1** Cuencas Hidrográficas Del Ecuador



**Figura 2** Ubicación del embalse La Mica.



**Figura 3** Estaciones de Muestreo Ríos tributarios, A: estaciones río Alambardo. M: estaciones río Moyas. S: estaciones río Sarpache.





**Figura 4** Frascos utilizados para el estudio de macrobentos. De izquierda a derecha: frascos de muestra, frascos de conservación de los invertebrados con doble tapa y frasco de conservación de los sedimentos



**Figura 5** Espacios dedicados a la identificación de los invertebrados



**Figura 6** Vista del río Sarpache el día 7 de enero del 2015, con sedimentos de hierro en el fondo



a)



b)

**Figura 7** a) sedimentos ferrosos en Sarpache y b) vista de la estación 5 donde se observa gran cantidad de macrófitas.



**Figura 8** Vista del río Sarpache el 22 de Enero 2015



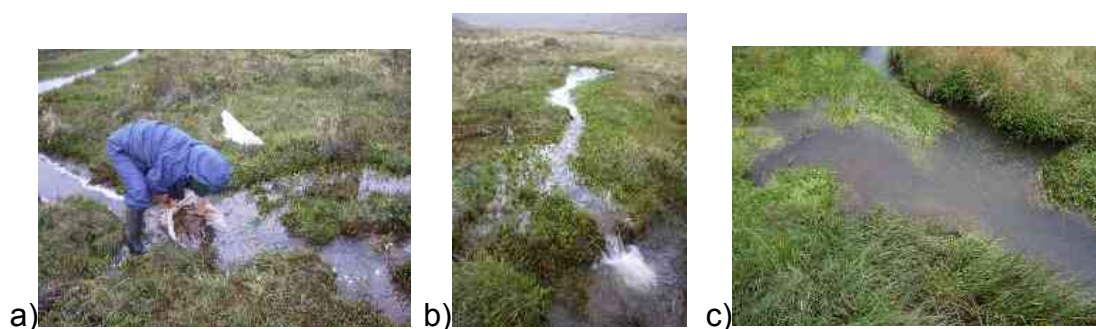
a)



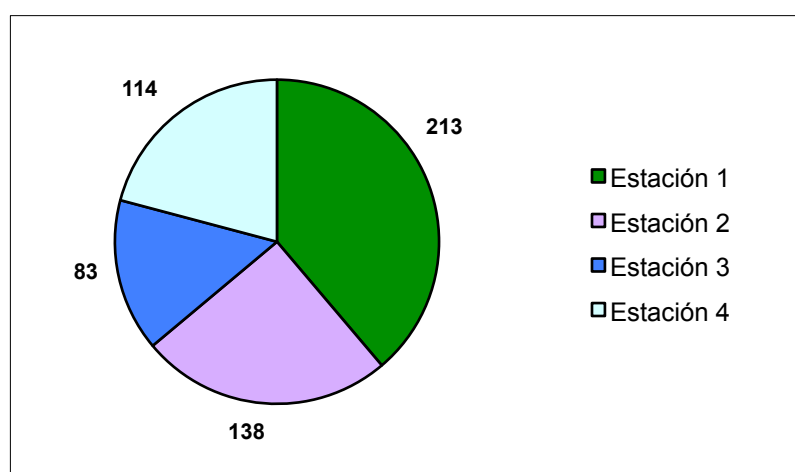
b)

**Figura 9** Vista del río Sarpache el 29 de enero 2015, a) depósitos de hierro y b) fuente de agua caliente.

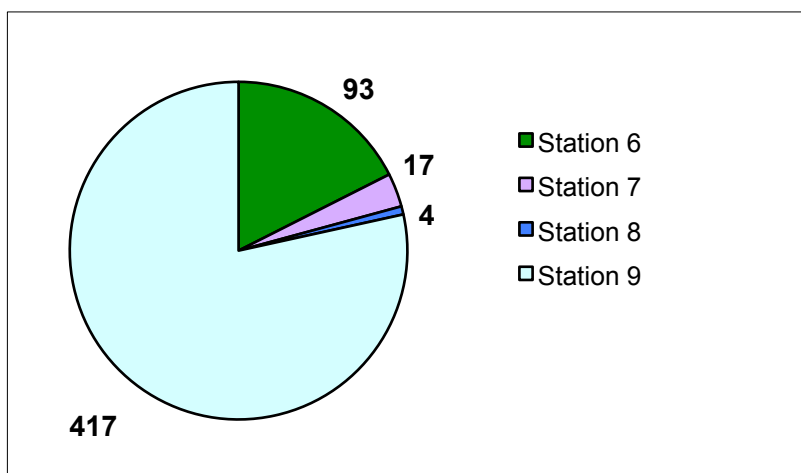




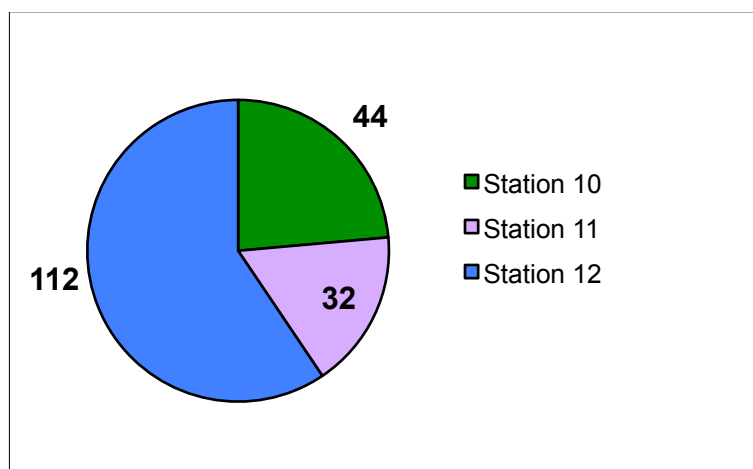
**Figura 10** Estaciones de monitoreo del río Sarpache, a) estación 10, b) estación 11 y c) estación 12. Donde se puede observar la vegetación en el fondo.



**Figura 11** Número de individuos por m<sup>2</sup> en las 4 estaciones de monitoreo del río Sarpache, el 7 de enero 2015



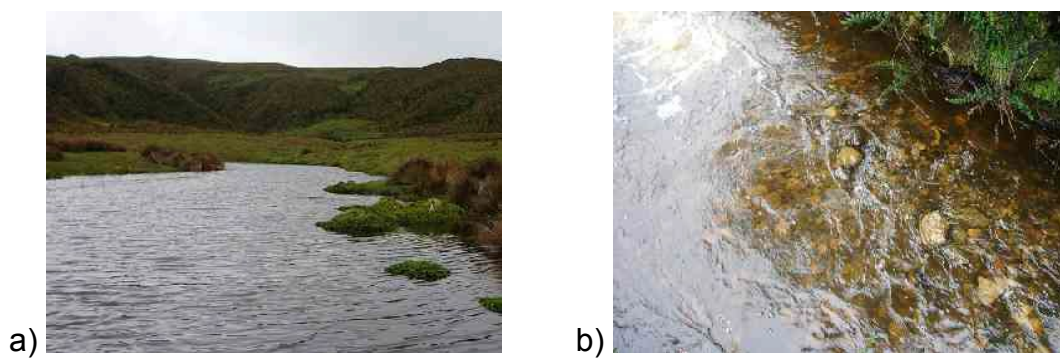
**Figura 12** Densidad de Individuos por m<sup>2</sup>, en las cuatro estaciones de monitoreo río Sarpache, 22 enero 2015



**Figura 13** Número de individuos por m<sup>2</sup> (Ind/m<sup>2</sup>) en las tres estaciones del río Sarpache, muestreo 29 Enero 2015



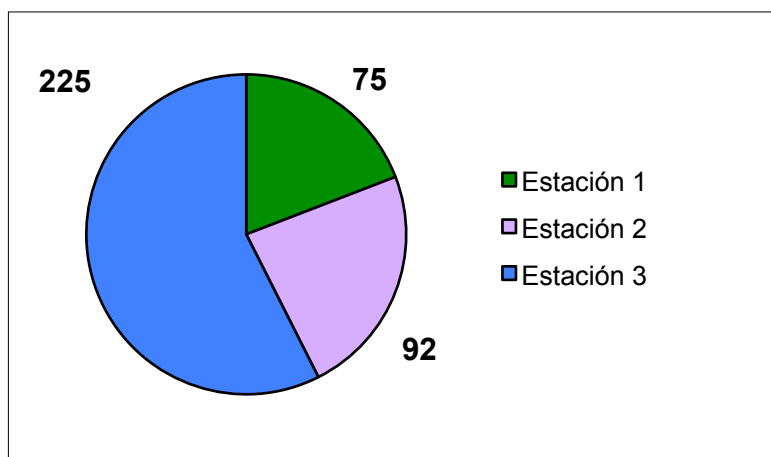
**Figura 14** a) estación 1 fondo pedregoso, b) estación 2 de muestreo fondo pedregoso . Río Moyas.



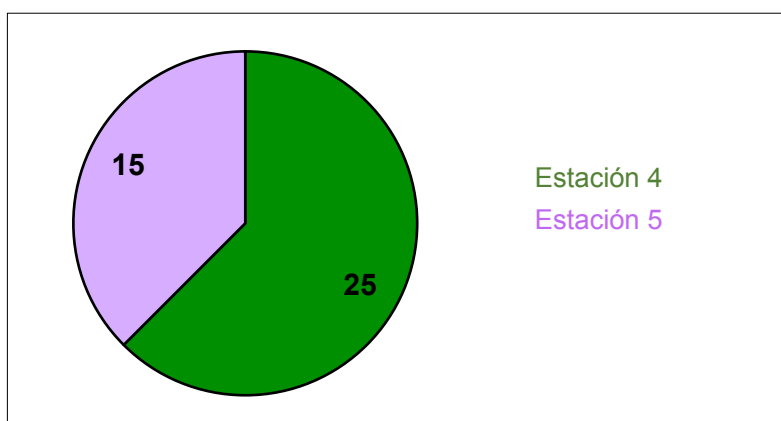
**Figura 15** a) Vista del río Moyas 22 de Enero y b) Estación 4



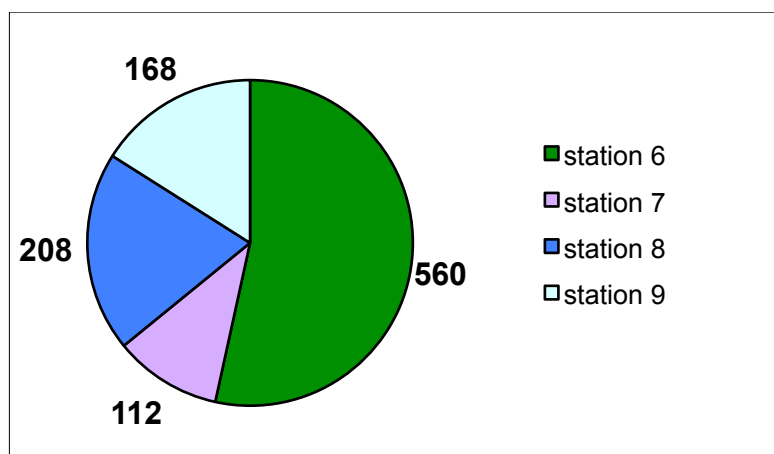
**Figura 16** Estaciones en el río Moyas 29 de enero 2015, a) cerca estación coloración del agua, b) estación 6 y c) vista de las estaciones 8 y 9



**Figura 17** Número de individuos por m<sup>2</sup> en las estaciones del monitoreo del río Moyas el 7 de Enero 2015



**Figura 18** Densidad de Individuos por estación de muestreo, río Moyas, 22 Enero 2015



**Figura 19** Número de individuos por m<sup>2</sup> en las 4 estaciones de monitoreo del río Moyas, 29 de enero 2014



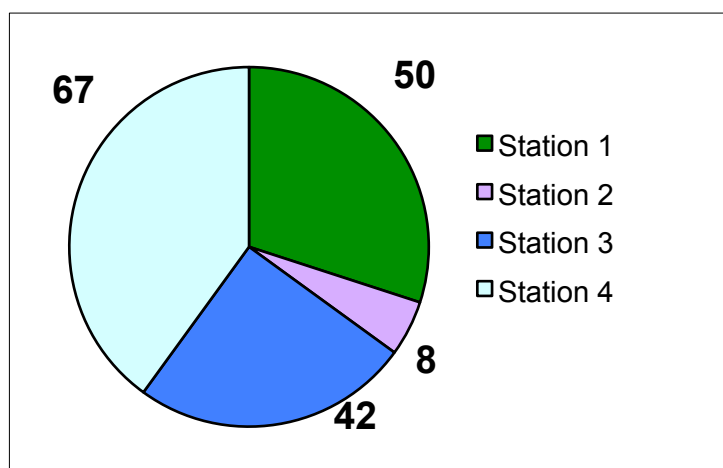
**Figura 20** Ambientes del río Alambrado



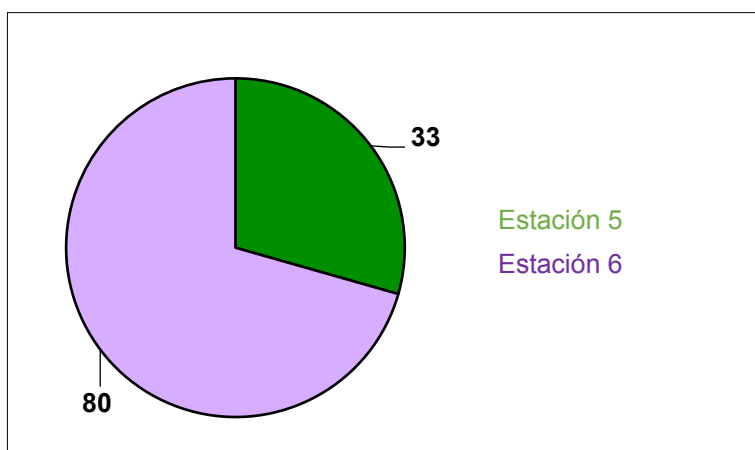
**Figura 21** Vista del río Alambrado a) estación 5 y b) estación 6



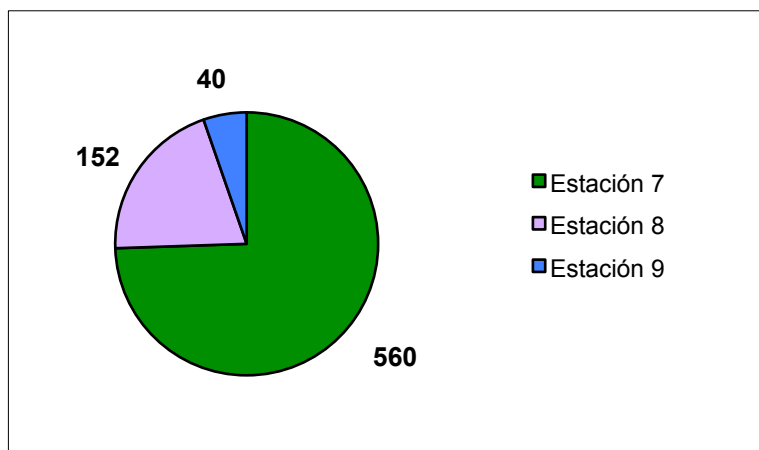
**Figura 22** Estaciones del río Alambrado: a) estación 7, b) estación 8 y c) estación 9, muestreadas el 22 de enero 2015



**Figura 23** Número de individuos por m<sup>2</sup> (Ind/m<sup>2</sup>), en las 4 estaciones de monitoreo del río Alambrado, 7 enero 2014













**Figura 24** Número de Individuos por m<sup>2</sup> en las estaciones 5 y 6 del río Alambrado, 22 de enero 2014













**Figura 25** Número de Individuos por m<sup>2</sup> en las tres estaciones del río Alambrado.



Phylum Annelida		
Clase Oligochaeta - Worms	Clase Hirudinea - Leeches	
		
Phylum Mollusca		
Clase Bivalvia - Mussels	Clase Gastropoda – Pouch snail	
		
Phylum Arthropoda		
Clase Malacostraca		
Orden Decápoda - Crayfish	Orden Amphipoda	Orden Isopoda
		
Clase Insecta		
Orden Plecoptera - Stonefly	Orden Trichoptera - Caddisfly	Orden Ephemeroptera - Mayfly
		
Orden Megaloptera - Alderflies	Orden Megaloptera - Dobsonfly	



		
Orden Coleoptera – Water Penny Beetle	Orden Coleoptera – Riffle Beetles	
		
Orden Odonata – Dragonfly	Orden Odonata – Damselfly	
		
<b>Orden Diptera</b>		
Familia Simuliidae – Black fly	Familia Tipulidae – Crane fly	Familia Chironomidae – Midge fly
		
Familia Athericidae – Snipe fly		
		

**Figura 26** Fotografías de los principales órdenes y clases de invertebrados

**14 TABLAS**

**Tabla 1** Coordenadas GPS y altura de los puntos de muestreo embalse La Mica y tributarios

<b>Sitio</b>	<b>Coordenadas Norte</b>	<b>Coordenadas Este</b>	<b>Atura (m.s.n.m.)</b>
<b>Centro del Embalse</b>	9939662	809923	3929
<b>Alambrado</b>	9940162	812048	3935
<b>Moyas</b>	9940231	813321	3942
<b>Sarpache</b>	9939020	809923	3929

**Tabla 2** Características del Embalse La Mica

<b>Volumen total:</b> $48.8 \times 10^6 \text{ m}^3$
<b>Longitud en el nivel máximo:</b>
<b>Ancho medio:</b> 1 Km
<b>Nivel máximo:</b> 3916,54 m.s.n.m.
<b>Nivel mínimo de operación:</b> 3909 m.s.n.m.
<b>Área de espejo de aguas a nivel máximo normal:</b> $3.72 \text{ Km}^2$
<b>Área de inundación con el nivel máximo normal:</b> $1.86 \text{ Km}^2$
<b>Ingreso anual de sedimentos al embalse:</b> $61.288 \text{ m}^3/\text{año}$ o $104.190 \text{ t/año}$

**Tabla 3** Características de los tributarios del embalse La Mica

	<b>Alambrado</b>	<b>Sarpache</b>	<b>Moyas</b>
<b>Área de la cuenca <math>\text{Km}^2</math></b>	6,1	5,7	7,1
<b>Caudal medio <math>\text{m}^3/\text{s}</math></b>	0,082	0.320	0,011
<b>Transp, Sed. Susp. <math>\text{t/año}</math></b>	11764	877	106
<b>Transp Sed. de fondo <math>\text{t/año}</math></b>	5619	865	163

**Tabla 4** Cuadro de Identificación de la calidad del agua en función del índice EPT

Clase	Índice EPT (%)	Calidad del agua	Color
1	75 – 100	Muy buena	
2	50 – 74	Buena	
3	25 – 49	Regular	
4	0 – 24	Mala	

**Tabla 5** Calidad del agua basada en valores IBF de Hilsenhoff.

Modificación de Hauer y Lamberti

Clase de Calidad	Valores del Índice IBF	Calidad de Agua	Color
1	< 3,75	Excelente	
2	3,76 – 4,25	Muy Buena	
3	4,26 – 5,00	Buena	
4	5,01 – 5,75	Regular	
5	5,76 – 6,50	Relativamente malo	
6	6,51 – 7,25	Mala	
7	7.26 – 10	Muy mala	

**Tabla 6** Clases de calidad de agua, valores BMWP

Clase	Calidad	Valores de BMWP	Significado
1	Buena	>150, 101 - 120	Aguas muy limpias
2	Aceptable	61 – 100	Aguas no alteradas
3	Dudosa	36 – 60	Aguas moderadamente contaminadas
4	Crítica	16 – 35	Aguas muy contaminadas
5	Muy Crítica	<15	Aguas fuertemente contaminadas

**Tabla 7** Coordenadas de las estaciones de muestreo en los 3 ríos tributarios

Sarpache			Moyas			Alambrado		
Estaciones	Coord E	Coord N	Estaciones	Coord E	Coord N	Estaciones	Coord E	Coord N
1	17812775	9938793	1	17812663	9939606	1	17812020	9940119
2	17812774	9938793	2	17812689	993960	2	17812074	9940146
3	17812772	9938807	3	17812743	9939627	3	17802126	9940163
4	17812771	9938813	4	17812795	9937334	4	17812203	9940200
5	17812773	9938822	5	17819617	9939617	5	17812695	9940154
6	17819586	9957210	6	17812657	9939618	6	17818069	9940145
7	17812165	9938819	7	17812678	9939613	7	17812201	9940198
8	17812768	9938855	8	17812699	9939609	8	17812201	9940198
9	17812195	9938875	9	17812701	9939610	9	17812208	9940195
10	17812202	9938819						
11	17812772	9938825						
12	17812712	9938871						

**Tabla 8** Comparación de los datos Físico-químicos obtenidos en el mes de Enero entre los años 2010 a 2014, con los datos obtenidos en el monitoreo del 2015, en Río Sarpache

07-ene-15	Sarpache		22-ene-15	Sarpache		29-ene-15	Sarpache	
	Promedio 10 -14	07/01/2015		Promedio 10 -14	22/01/2015		Promedio 10 -14	29/01/2015
T. Amb. ° C.	12.0	15	T. Amb. ° C.	12.0	6	T. Amb. ° C.	8.9	6
T. Agua ° C.	9.2	18	T. Agua ° C.	9.2	9	T. Agua ° C.	8.8	10
pH	7.1	7.7	pH	7.1	6.8	pH	6.7	5.45
OD (mg/l)	6.3	6.1	OD (mg/l)	6.3	6.5	OD (mg/l)	6.1	7.1
Cond. (µS/cm)	120.1	84	Cond. (µS/cm)	120.1	25	Cond. (µS/cm)	136.1	80.8

**Tabla 9** Composición Taxonómica río Sarpache, muestreo 7 de enero 2015

Fecha	07/01/15				
Estacion	1	2	3	4	5
<b>Phylum Annelida</b>					
Turbelarios					
Planariidae					
<b>Hirudineos</b>					
Glossiphoniidae	1				
<b>Oligochetos</b>	1	1		3	
<b>Phylum Mollusca</b>					
Lymnaeidae					1
Spharidae					
<b>Phylum Artropoda</b>					
<b>Crustaceos</b>					
Hyalellidae (color canela)	32	21	7	17	2400
Hyalellidae (color verde)					
Asellidae			3		
<b>Aracnidos</b>					
<b>Insecta</b>					
<b>Pupas</b>					
<b>&gt; Dípteros</b>					
Blepharoceridae					
Ceratopogonidae (adultos)					
Chironomidae					1
Limoniidae					
Simuliidae					
Tipulidae					
<b>&gt; Coleopteros</b>					
Staphylinidae				1	
Elmidae (larva)					
Elmidae (adulto)					
<b>&gt; Tricópteros</b>					
Hydrobiosidae					
Limnephilidae (Anomalocosmoecus)					
<b>&gt; Megalópteros</b>					
<b>&gt; Plecópteros</b>					
<b>&gt; Efémeroópteros</b>					
<b>&gt; Heterópteros</b>					
<b>&gt; Odonatos</b>					
Cordulegasteridae				3	
Numero de individuos	34	22	10	24	2402
Ind./m <sup>2</sup>	213	138	83	114	13344

**Tabla 10** Composición Taxonómica río Sarpache, muestreo 22 enero 2015

Fecha	22/01/15			
Estacion	6	7	8	9
<b>Phylum Annelida</b>				
<b>Turbelarios</b>				
Planariidae				
<b>Hirudineos</b>				
Glossiphoniidae				
<b>Oligochetos</b>				1
<b>Phylum Mollusca</b>				
Lymnaeidae				
Spharidae				1
<b>Phylum Artropoda</b>				
<b>Crustaceos</b>				
Hyaellidae (color canela)	22	4	1	120
Hyaellidae (color verde)	6	2	0	131
Asellidae				
<b>Aracnidos</b>				
<b>Insecta</b>				
<b>Pupas</b>				3
<b>&gt; Dipteros</b>				
Blepharoceridae				
Ceratopogonidae (adultos)				
Chironomidae				
Limoniidae				
Simuliidae				3
Tipulidae				8
<b>&gt; Coleopteros</b>				
Staphylinidae				
Elmidae (larva)				
Elmidae (adulto)				
<b>&gt; Tricópteros</b>				
Hydrobiosidae				
Limnephilidae (Anomalocosmoecus)				
<b>&gt; Megalópteros</b>				
<b>&gt; Plecópteros</b>				
<b>&gt; Efemeropteros</b>				
<b>&gt; Heterópteros</b>				
<b>&gt; Odonatos</b>				
Cordulegasteridae				
Numero de individuos	28	6	1	267
Ind./m <sup>2</sup>	93	17	4	417

**Tabla 11** Composición Taxonómica río Sarpache, muestreo 29 enero 2015

Fecha	29/01/15		
Estacion	10	11	12
<b>Phylum Annelida</b>			
<b>Turbelarios</b>			
Planariidae			
<b>Hirudineos</b>			
Glossiphoniidae			
<b>Oligochetos</b>			
<b>Phylum Mollusca</b>			
Lymnaeidae			1
Spharidae			
<b>Phylum Artropoda</b>			
<b>Crustaceos</b>			
Hyalellidae (color canela)	4	2	
Hyalellidae (color verde)			
Asellidae			
<b>Aracnidos</b>			
<b>Insecta</b>			
<b>Pupas</b>			
<b>&gt; Dípteros</b>			
Blepharoceridae			
Ceratopogonidae (adultos)			
Chironomidae			6
Limoniidae			
Simuliidae			
Tipulidae			
<b>&gt; Coleopteros</b>			
Staphylinidae			
Elmidae (larva)			
Elmidae (adulto)			
<b>&gt; Tricopteros</b>			
Hydrobiosidae			
Limnephilidae (Anomalocosmoecus)			
<b>&gt; Megalopteros</b>			
<b>&gt; Plecopteros</b>			
<b>&gt; Efemeropteros</b>			
<b>&gt; Heteropteros</b>			
<b>&gt; Odonatos</b>			
Cordulegasteridae			
Numero de individuos	4	2	7
Ind./m <sup>2</sup>	44	32	112



**Tabla 12** Valores de índices bióticos para las estaciones de Sarpache, monitoreadas el 7 de Enero 2015

<b>Sarpache</b>	Estación 1	Estación 2	Estación 3	Estación 4	Estación 5
IEPT	0	0	0	0	0
IBMWP	10	7	9	19	11
ABI	10	7	6	16	11
IIBF	4	4,2	4,9	4,4	4,0

**Tabla 13** Índices Bióticos de cada una de las estaciones de muestreo del río Sarpache, 22 Enero 2015.

<b>Sarpache</b>	Estación 6	Estación 7	Estación 8	Estación 9
IEPT	0	0	0	0
IBMWP	6	6	6	24
ABI	6	6	6	20
IIBF	4	4	4	4,1

**Tabla 14** Índices Bióticos calculados sobre las muestras de macrobentos del río Sarpache, 29 enero 2015

<b>Sarpache</b>	Estación 10	Estación 11	Estación 12
IEPT	0	0	0
IBMWP	6	6	9
ABI	6	6	6
IIBF	4	4	7

**Tabla 15** Comparación de los datos Físico-químicos obtenidos en el mes de Enero entre los años 2010 a 2014, con los datos obtenidos en el monitoreo del 2015, en Río Moyas.

07-ene-15	Moyas		22-ene-15	Moyas		29-ene-15	Moyas	
	Promedio 10 -14	07/01/2015		Promedio 10-14	22/01/2015		Promedio 10-14	29/01/2015
T. Amb. ° C.	12.5	13	T. Amb. ° C.	12.5	6	T. Amb. ° C.	7.6	6
T. Agua ° C.	11.9	10	T. Agua ° C.	11.9	6.5	T. Agua ° C.	8.9	10
pH	7.3	7.36	pH	7.3	7.2	pH	7.0	6.94
OD (mg/l)	6.4	6.7	OD (mg/l)	6.4	7.1	OD (mg/l)	6.6	7.5
Cond. (µS/cm)	126.50	60	Cond. (µS/cm)	126.50	34	Cond. (µS/cm)	60.5	74.5

**Tabla 16** Composición taxonómica río Moyas, muestreo 7 enero 2015

Fecha	07/01/15		
Estacion	1	2	3
<b>Phylum Annelida</b>			
<b>Turbelarios</b>			
Planariidae			
<b>Hirudineos</b>			
Glossiphoniidae			
<b>Oligochetos</b>			
<b>Phylum Mollusca</b>			
Hydrobiidae			
<b>Phylum Artropoda</b>			
<b>Crustaceos</b>			
Hyalellidae	4	1	1
Asellidae			
<b>Aracnidos</b>			
Acari Hygrobatidae			
<b>Insecta</b>			
<b>&gt; Dípteros</b>			
Blepharoceridae			
Ceratopogonidae (adultos)			
Chironomidae	1	6	15
Chironomidae (adultos)			
Limoniidae	1		1
Simuliidae		2	1
<b>&gt; Coleopteros</b>			
Scirtidae		1	
Elmidae (larva)			
Elmidae (adulto)			1
<b>&gt; Tricopteros</b>			
Hydrobiosidae	1		
Limnephilidae (Anomalocosmoecus)		1	9
<b>&gt; Megalopteros</b>			
<b>&gt; Plecopteros</b>			
<b>&gt; Efemeropteros</b>			
Baetidae	1		1
<b>&gt; Heteropteros</b>			
<b>&gt; Odonatos</b>			
Numero de individuos	9	11	27
Ind./m <sup>2</sup>	75	92	225

**Tabla 17** Composición Taxonómica río Moyas, muestreo 22 enero 2015

Fecha	22/01/15	
Estacion	4	5
<b>Phylum Annelida</b>		
<b>Turbelarios</b>		
Planariidae		
<b>Hirudineos</b>		
Glossiphoniidae		
<b>Oligochetos</b>		
<b>Phylum Mollusca</b>		
Hydrobiidae		
<b>Phylum Artropoda</b>		
<b>Crustaceos</b>		
Hyalellidae	1	
Asellidae		
<b>Aracnidos</b>		
Acari Hygrobatidae	1	
<b>Insecta</b>		
<b>&gt; Dipteros</b>		
Blepharoceridae		
Ceratopogonidae (adultos)		
Chironomidae		
Chironomidae (adultos)	2	
Limoniidae		
Simuliidae	1	2
<b>&gt; Coleopteros</b>		
Scirtidae		
Elmidae (larva)		
Elmidae (adulto)		
<b>&gt; Tricopteros</b>	1	
Hydrobiosidae		1
Limnephilidae (Anomalocosmoecus)		
<b>&gt; Megalopteros</b>		
<b>&gt; Plecopteros</b>		
<b>&gt; Efemeropteros</b>		
Baetidae		
<b>&gt; Heteropteros</b>		
<b>&gt; Odonatos</b>		
Numero de individuos	6	3
Ind./m <sup>2</sup>	25	15

**Tabla 18** Composición Taxonómica río Moyas, muestreo 29 enero 2015

Fecha	29/01/15			
Estacion	6	7	8	9
<b>Phylum Annelida</b>				
<b>Turbelarios</b>				
Planariidae				
<b>Hirudineos</b>				
Glossiphoniidae				
<b>Oligochetos</b>	2	2		
<b>Phylum Mollusca</b>				
Hydrobiidae				
<b>Phylum Artropoda</b>				
<b>Crustaceos</b>				
Hyalellidae	1	2	1	
Asellidae				
<b>Aracnidos</b>				
Acari Hygrobatidae				
<b>Insecta</b>				
<b>&gt; Dipteros</b>				
Blepharoceridae				
Ceratopogonidae (adultos)	1			
Chironomidae	26	10	20	16
Chironomidae (adultos)				
Limoniidae				
Simuliidae	2		3	2
<b>&gt; Coleopteros</b>				
Scirtidae				
Elmidae (larva)			1	1
Elmidae (adulto)				1
<b>&gt; Tricopteros</b>				
Hydrobiosidae				
Limnephilidae (Anomalocosmoecus)	3		1	1
<b>&gt; Megalopteros</b>				
<b>&gt; Plecopteros</b>				
<b>&gt; Efemeropteros</b>				
Baetidae				
<b>&gt; Heteropteros</b>				
<b>&gt; Odonatos</b>				
Numero de individuos	35	14	26	21
Ind./m <sup>2</sup>	560	112	208	168

**Tabla 19** Valores de Índices Bióticos en las 3 estaciones del río Moyas, monitoreadas el 7 de Enero de 2015

<b>Moyas</b>	Estación 1	Estación 2	Estación 3
IEPT	22	9,1	37
IBMWP	22	18	32
ABI	24	25	33
IIBF	4,1	6	6,1

**Tabla 20** Cuadro de presentación de los Índices Bióticos en la Estación 4 y 5 del río Moyas, 22 de enero 2015

<b>Moyas</b>	Estación 4	Estación 5
IEPT	17	33
IBMWP	22	10
ABI	21	13
IIBF	5,3	5,3

**Tabla 21** Índices Bióticos calculados sobre las muestras de macrobentos en el río Moyas, 29 de enero 2015

<b>Moyas</b>	Estación 1	Estación 2	Estación 3	Estación 4
IEPT	9	0	4	5
IBMWP	23	9	23	17
ABI	25	9	25	19
IIBF	6,6	6,7	6,5	6,5

**Tabla 22** Comparación de los datos Físico-químicos obtenidos en el mes de Enero entre los años 2010 a 2014, con los datos obtenidos en el monitoreo del 2015, en Río Moyas.

07-ene-15	Alambrado		22-ene-15	Alambrado		29-ene-15	Alambrado	
	Promedio 10 – 14	07/01/2015		Promedio 10 – 14	22/01/2015		Promedio 10 – 14	29/01/2015
T. Amb. ° C.	9.5	13	T. Amb. ° C.	9.5	6	T. Amb. ° C.	9.8	6
T. Agua ° C.	10.2	11	T. Agua ° C.	10.2	7.6	T. Agua ° C.	10.0	10
pH	7.1	7.3	pH	7.1	6.7	pH	6.8	7.3
OD (mg/l)	6.5	7.7	OD (mg/l)	6.5	7	OD (mg/l)	6.4	7
Cond. (µS/cm)	154.5	137	Cond. (µS/cm)	154.5	82	Cond. (µS/cm)	151.5	171.4

**Tabla 23** Composición Taxonómica río Alambrado, muestreo 7 de enero 2015

Fecha	07/01/15			
Estacion	1	2	3	4
<b>Phylum Annelida</b>				
<b>Turbelarios</b>				
Planariidae				
<b>Hirudineos</b>				
Glossiphoniidae				
<b>Oligochetos</b>			1	
<b>Phylum Mollusca</b>				
Hydrobiidae				
<b>Phylum Artropoda</b>				
<b>Crustaceos</b>				
Hyaellidae	2			2
Asellidae				
<b>Aracnidos</b>				
<b>Insecta</b>				
<b>&gt; Dípteros</b>				
Blepharoceridae				1
Ceratopogonidae (adultos)	1			
Chironomidae			2	1
Chironomidae (adultos)				
Chironomidae : procladius sp				
Limoniidae		1	1	
Simuliidae				1
<b>&gt; Coleopteros</b>				
Elmidae (larva)	1		1	1
Elmidae (adulto)				
<b>&gt; Tricópteros</b>				
Hydrobiosidae				
Limnephilidae (Anomalocosmoecus)	2			2
<b>&gt; Megalópteros</b>				
<b>&gt; Plecópteros</b>				
<b>&gt; Efémeroópteros</b>				
<b>&gt; Heterópteros</b>				
<b>&gt; Odonatos</b>				
Numero de individuos	6	1	5	8
Ind./m <sup>2</sup>	50	8	42	67



**Tabla 24** Composición taxonómica río Alambrado, muestreo 22 enero 2015

Fecha	22/01/15	
Estacion	5	6
<b>Phylum Annelida</b>		
<b>Turbelarios</b>		
Planariidae		
<b>Hirudineos</b>		
Glossiphoniidae		
<b>Oligochetos</b>		2
<b>Phylum Mollusca</b>		
Hydrobiidae		
<b>Phylum Artropoda</b>		
<b>Crustaceos</b>		
Hyalellidae		3
Asellidae		
<b>Aracnidos</b>		
<b>Insecta</b>		
<b>&gt; Dípteros</b>		
Blepharoceridae		
Ceratopogonidae (adultos)		
Chironomidae		
Chironomidae (adultos)		1
Chironomidae : procladius sp		
Limoniidae		
Simuliidae		2
<b>&gt; Coleopteros</b>		
Elmidae (larva)	5	
Elmidae (adulto)		
<b>&gt; Tricopteros</b>		
Hydrobiosidae		
Limnephilidae (Anomalocosmoecus)	1	
<b>&gt; Megalopteros</b>		
<b>&gt; Plecopteros</b>		
<b>&gt; Efemeropteros</b>		
<b>&gt; Heteropteros</b>		
<b>&gt; Odonatos</b>		
Numero de individuos	6	8
Ind./m <sup>2</sup>	33	80

**Tabla 25** Composición Taxonómica río Alambrado, muestreo 29 enero 2015

Fecha	29/01/15		
Estacion	7	8	9
<b>Phylum Annelida</b>			
<b>Turbelarios</b>			
Planariidae			
<b>Hirudineos</b>			
Glossiphoniidae			
<b>Oligochetos</b>	1		1
<b>Phylum Mollusca</b>			
Hydrobiidae			
<b>Phylum Artropoda</b>			
<b>Crustaceos</b>			
Hyalellidae			
Asellidae			
<b>Aracnidos</b>			
<b>Insecta</b>			
<b>&gt; Dipteros</b>			
Blepharoceridae			
Ceratopogonidae (adultos)			1
Chironomidae	26	18	3
Chironomidae (adultos)			
Chironomidae : procladius sp	2		
Limoniidae			
Simuliidae	2		
<b>&gt; Coleopteros</b>			
Elmidae (larva)	4	1	
Elmidae (adulto)			
<b>&gt; Tricopteros</b>			
Hydrobiosidae			
Limnephilidae (Anomalocosmoecus)			
<b>&gt; Megalopteros</b>			
<b>&gt; Plecopteros</b>			
<b>&gt; Efemeropteros</b>			
<b>&gt; Heteropteros</b>			
<b>&gt; Odonatos</b>			
Numero de individuos	35	19	5
Ind./m <sup>2</sup>	560	152	40

**Tabla 26** Índices Bióticos de cada una de las cuatro estaciones de muestreo del río Alambrado, 7 enero 2015.

<b>Alambrado</b>	Estación 1	Estación 2	Estación 3	Estación 4
IEPT	33	0	0	25
IBMWP	20	4	12	33
ABI	22	4	12	35
IIBF	4,3	6	6,4	4,1

**Tabla 27** Índices Bióticos calculados de las muestras del río Alambrado, 22 de enero 2015

<b>Alambrado</b>	Estación 5	Estación 6
IEPT	17	0
IBMWP	10	14
ABI	12	14
IIBF	4	6

**Tabla 28** Índices bióticos calculados en base a las muestras de agua del río Alambrado, 29 de enero 2015

<b>Alambrado</b>	Estación 7	Estación 8	Estación 9
IEPT	0	0	0
IBMWP	13	7	7
ABI	13	7	7
IIBF	6,6	6,8	7

**Tabla 29** Lista de macrobentos encontrados en los tributarios de La Mica

Phylum	Ordenes	Familia
<i>Phylum Annelida</i>		
	Platyhelminthes	Turbelarios
		Planariidae
	Hirudineos	
		Glossiphoniidae
	Oligochetos	
<i>Phylum Mollusca</i>		
		Lymnaeidae
		Spharidae
<i>Phylum Artropoda</i>		
	Crustaceos	
		Gammaridae
		Asellidae
	Aracnidos	
		Aceri Hygrobatidae
	Insecta	
	> Dipteros	
		Blepharoceridae
		Ceratopogonidae
		Chironomidae
		Limoniidae
		Simuliidae
		Tipulidae
	> Coleopteros	
		Staphylinidae
		Scirtidae
		Elmidae
	> Tricopteros	
		Hydrobiosidae
		Limnephilidae (Anomalocosmoeus)
	> Megalopteros	
	> Plecopteros	
	> Efemeropteros	
		Baetidae
	> Heteropteros	
	> Odonatos	
		Cordulegasteridae

## **15 ANEXOS**

**Anexo 1** Valores de Tolerancia a los contaminantes de los diferentes Órdenes y Familias (IBF). Valores de tolerancia 0, menos tolerante a la contaminación a valores tolerancia 10, más tolerante a la contaminación. (Hilsenhoff, 1988).

Orden (o Clase)	Familia	Valor de tolerancia	Orden (o Clase)	Familia	Valor de tolerancia
Plecoptera	Gripopterygidae	1	Megaloptera	Corydalidae	0
	Notonemouridae	0		Sialidae	4
	Perlidae	1	Lepidoptera	Pyrilidae	5
	Diamphipnoidae	0			
	Eustheniidae	0	Platyhelminthes	Turbellaria	4
	Austroperlidae	1			
Ephemeroptera	Baetidae	4	Acari	Decapoda	6
	Caenidae	7			
	Leptophlebiidae	2	Coleoptera	Elmidae	4
	Siphonuridae	7			
	Oligoneuridae	2	Diptera	Athericidae	2
	Ameletopsidae	2			
	Coloburiscidae	3	Blephariceridae	Ceratopogonidae	6
	Oniscigastridae	3			
Odonata	Aeshnidae	3	Chironomidae	Empididae	6
	Calopterygidae	5			
	Gomphidae	1	Ephydriidae	Psychodidae	10
	Lestidae	9			
	Libellulidae	9	Simuliidae	Tipulidae	3
	Coenagrionidae	9			
	Cordulidae	5	Amphipoda	Gammaridae	4
	Petaluridae	5			
Trichoptera	Calamoceratidae	3	Hyalellidae		8
	Glossosomatidae	0			
	Helicopsychidae	3	Mollusca	Amnicolidae	6
	Hydropsychidae	4			
	Hydroptilidae	4			
	Leptoceridae	4			
	Limnephilidae	2			
	Ecnomidae	3		Physidae	8
	Helicophidae	6			
	Polycentropodidae	3	Sphaeriidae	Chilimidae	6
	Philopotamidae	2			
	Hydrobiosidae	0	Oligochaeta	Hirudinea	8
	Sericostomatidae	3			
					10

**Anexo 2** Puntaje de Familias de macroinvertebrados para el Índice BMWP.  
Puntajes de 1 a 10. Familias puntajes 1 tolerantes a la contaminación familias con puntajes 10 son susceptibles a la contaminación.

Familias	Puntajes
Anomalopsychidae, Atriplectididae, Blepharoceridae, Calamoceratidae, Chordodidae, Ghomphidae, Hydridae, Lamoyridae, Lymnessiidae, Odontoceridae, Olineuriidae, Perlidae, Polythoridae, Psephenidae.	10
Ampullariidae, Dytiscidae, Ephemeridae, Euthyplociidae, Gyrinidae, Hydraenidae, Hydrobiosidae, Leptoplebiidae, Philopotamidae, Polycentropodidae, Polymitarcyidae, Xiphocentronidae.	9
Gerridae, Hebridae, Helicopsychidae, Hydrobiidae, Leptoceridae, Lesidae, Palaemonidae, Pleidae, Pseudothelpusidae, Saldidae, Simuliidae, Veliidae.	8
Baetidae, Caenidae, Calopterygidae, Coenagrionidae, Corixidae, Dixidae, Dryopidae, Glossosomatidae, Hyalellidae, Hydroptilidae, Hydropsychidae, Leptohyphidae, Naucoridae, Notonectidae, Planariidae, Psychodidae, Scirtidae.	7
Aeshnidae, Ancylidae, Corydalidae, Elmidae, Libellulidae, Limnichidae, Lutrochidae, Megapodagrionidae, Sialidae, Sthaphylinidae.	6
Belastomidae, Gelastocoridae, Mesoveliidae, Nepidae, Planorbiidae, Pyralidae, Tabanidae, Thiaridae.	5
Chrysomelidae, Stratiomidae, Haliplidae, Empididae, Dolichopodidae, Sphaeridae, Lymnaeidae, Hydrometidae, Noteridae.	4
Ceratopogonidae, Glossophoniidae, Cyclobdellidae, Hydrophilidae, Phydidae, Tipulidae.	3
Culicidae, Chironomidae, Muscidae, Sciomyzidae, Syrphidae.	2
Turbificidae	1



## DECLARACION Y AUTORIZACIÓN

Yo, Pablo Alberto Cordero Ledergerber, con Cédula de Ciudadanía 1708549454. Autor del trabajo de graduación intitulado: "Calidad del agua para los ríos alto andinos, mediante indicadores biológicos.", previa la obtención del grado académico de **LICENCIADO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS** en la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales.

1. Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tiene la Pontificia Universidad Católica del Ecuador, de conformidad con el artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, de entregar a la SENESCYT en formato digital una copia del referido trabajo de graduación para ser integrado al Sistema Nacional de Información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.
2. Autorizo a la Pontificia Universidad Católica del Ecuador a difundir a través del sitio web de la Biblioteca de la PUCE el referido trabajo de graduación, respetando las políticas de propiedad intelectual de la Universidad.

Quito, 30 de marzo de 2015

f) Pablo Cordero L

c.c. 1708549454